

VŠB- Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

**Posouzení vlivu obsahu solí na fyzikálně – mechanické
vlastnosti cihelného zdiva zemědělských objektů**

**Assessment of salinity effect on physical - mechanical
properties of brick masonry from agricultural buildings**

Student:

Bc. Nikola Bogdanovič

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tereza Majstríková

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Nikola Bogdanovič**
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607T021 Stavební hmoty a diagnostika staveb
Téma: **Posouzení vlivu obsahu solí na fyzikálně – mechanické vlastnosti
cihelného zdiva zemědělských objektů**
**Assessment of salinity effect on physical - mechanical properties of brick
masonry from agricultural buildings**

Zásady pro vypracování:

Kontaminace konstrukčních materiálů solemi různé chemické povahy je charakteristická pro většinu stávajících staveb, které sloužily k zemědělským, či průmyslovým účelům, nebo byly v kontaktu s posypovým materiálem. Toto je případ i bývalých zemědělských areálů, u nichž je v současné době nutné rozhodnout o jejich případném opětovném využití. Stavebně technický průzkum těchto objektů je důležitý, z důvodu identifikace kritických míst staveb, ale v těchto případech i kvantifikace solí a posouzení jejich vlivu na fyzikálně – mechanické vlastnosti. Pro návrh dalšího využití objektu je nutné také zkoumat příslušné hygienické, či jiné limity. V případě jejich překročení musí být navržen vhodný sanační zásah. V rámci této závěrečné práce bude v první teoretické části (teoretická) pojednáno o problematice pálených cihel a cihelného zdiva, o kontaminaci materiálů solemi s jejich charakteristikami a degradačními procesy, které soli způsobují. Ve druhé části (praktické) bude na vybraném objektu bývalého zemědělského družstva s podezřením na výskyt solí ve zdivu proveden stavebně technický průzkum s identifikací kritických míst a dále identifikací a kvantifikací solí. Laboratorně budou následně experimentálně stanoveny zejména pevnostní a vlhkostní charakteristiky v závislosti na obsahu solí v materiálu. Na základě těchto výsledků budou popsány limity související s případným opětovným využitím zemědělského objektu.

Seznam doporučené odborné literatury:

- Balík, M. Odvlhčování staveb, Praha: Grada, 2008, ISBN 978-80-247-2693-9.
Hanykýř, V., Kutzendörfer, J. Technologie keramiky, Praha: Silikátový svaz, 2008, ISBN: 978-80-86821-48-1.
Mencl, V. Stavebně technické průzkumy, Praha: ČKAIT, 2012, ISBN 978-80-87438-27-5.
Witzany, J., et al. PIDR – Poruchy, degradace a rekonstrukce, Praha: ČVUT, 2010, ISBN 978-80-01-04488-9.
ČSN EN 772-1 Zkušební metody pro zdicí prvky - Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku (2011).
ČSN EN 772-5 Zkušební metody pro zdicí prvky – Část 5: Stanovení obsahu aktivních rozpustných solí v pálených zdicích prvcích (2003).
ČSN 722600 Cihlářské výrobky. Společná ustanovení (2004).
ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí (2011).
ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí (2014).
ČSN EN ISO 12570 Tepelné vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě (2014).

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tereza Murinová**

Datum zadání: 28.02.2015

Datum odevzdání: 30.11.2015



Ing. Libor Židek
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí Ing. Terezy Majstríkové a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3)
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek

V Ostravě

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval Ing. Tereze Majstríkové za rady a pomoc, kterou mi poskytovala v průběhu vypracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval starostovi Dolních Životic panu Jaroslavu Vaňkovi za poskytnutí potřebných informací, umožnění přístupu do objektu a provedení potřebných měření, Ing. Janu Hurtovi za pomoc při úpravě zkušebních vzorků a také při měření v Dolních Životicích. Poděkování patří také laboratoři stavebních hmot a diagnostiky staveb ze stavební fakulty Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava za umožnění přístupu do laboratoře a využití měřících zařízení. Dále děkuji laboratoři tepelných vlastností, reologie a koroze stavebních materiálů, zřízené v rámci projektu ICT - Institutu čistých technologií těžby a užití energetických surovin za využití klimakomory.

Anotace

Cihla a cihelné prvky se jako stavební materiál hojně používal pro výstavbu objektů určených k bydlení, průmyslovému využití i zemědělství před desítkami let a stále se používá dodnes. Pro dlouhodobou životnost je zcela nezbytné o stavby pečovat a zaměřit se na redukci charakteristických vad a poruch cihelných staveb jako jsou trhliny, vlhkost a kontaminace agresivními látkami atd.

Tato diplomová práce se zaměřuje na problematiku cihelného zdiva z hlediska obsahu aktivních solí. V diplomové práci je řešen objekt v Malenovicích, kde se stanovil obsah solí a jejich vliv na pevnostní a vlhkostní charakteristiky zdiva. Poté byly vybrané postupy s výsledky z objektu v Malenovicích ověřeny na zemědělském objektu v Dolních Životicích, kde po stanovení obsahu solí byl posouzen jejich vliv na vlhkostní i pevnostní parametry zdiva.

Annotation

Brick, as building material, is widely used for construction of residential buildings, agriculture and industrial use many decades ago and it is still used today. For long life, it is necessary to take care of the buildings and focusing on the reduction of characteristic defects and failures of brick constructions such as cracks, moisture and contamination with aggressive substances etc.

This thesis focuses on the issue of brick masonry in terms of the contamination of active salts. In this work, the object in Malenovice is solved, for which the salt content was determined and their impact on the strength and moisture characteristics of masonry. Afterwards the selected procedures with the results of the object in Malenovice were checked at a farm house in Dolní Životice, where the influence of salt to moisture and strength parameters of masonry was also assessed after determination of their contents.

Klíčová slova

Stavebně-technický průzkum, obsah solí, cihelné zdivo, pálené cihly, vlhkost, degradace

Key words

Technical - building survey, salinity, brick masonry, burnt bricks, moisture, degradation

1. Úvod	1
2. Pálené cihly a cihelné zdivo.....	2
2.1. Charakteristika cihelného zdiva	2
2.2. Historie cihel	3
2.3. Suroviny pálených cihel	6
2.4. Výroba pálených cihel.....	7
2.5. Vlastnosti pálených cihel	12
3. Degradace cihelného zdiva	16
3.1. Problematika stávajících zděných staveb	17
3.2. Vliv působení vlhkosti v konstrukci	19
3.3. Zdroje vlhkosti	21
3.3.1. Klasifikace vlhkosti	22
3.3.2. Metody ochrany před vlhkostí.....	23
3.4. Chemická degradace zdiva - působení solí	25
3.4.1. Krystalizace a hydratace solí	27
3.4.2. Vliv solí na fyzikálně – mechanické vlastnosti	29
4. Diagnostika cihelných objektů.....	31
4.1. Předběžný stavebně-technický průzkum	32
4.2. Podrobný stavebně-technický průzkum	32
4.2.1 Stanovení objemové hmotnosti	33
4.2.2 Stanovení vlhkosti a nasákavosti	33
4.2.3 Stanovení obsahu solí	35
4.2.4 Semidestruktivní - tvrdoměrné metody	36
4.2.5 Stanovení pevnosti v tlaku.....	37
5. Zkoušení pálených cihel zemědělského objektu v Malenovicích.....	38
5.1. Stanovení objemové hmotnosti v suchém stavu	41
5.2. Simulace umístění v nevytápěných prostorách	45
5.3. Stanovení nasákavosti	48
5.4. Stanovení pevnosti v tlaku	51
5.5. Aplikace Kučerovy vrtačky.....	59

5.6. Stanovení obsahu solí	63
5.7. Vyhodnocení zkoušek pálených cihel zemědělských objektů	68
6. Diagnostika bývalého zemědělského objektu v Dolních Životicích.....	69
6.1. Popis objektu a historie objektu	70
6.2. Popis kritických míst objektu (včetně fotodokumentace)	71
6.3. Měření IN SITU - Aplikace Kučerovy vrtačky	77
6.4. Laboratorní měření	86
6.4.1. Stanovení vlhkosti	86
6.4.2. Stanovení obsahu solí	88
6.5. Vyhodnocení provedeného stavebně technického průzkumu	96
6.6. Posouzení variant dalšího využití objektu.....	97
6.7. Srovnání výsledků z objektu z Malenovic a Dolních Životic	98
7. Závěr	100
Seznam použité literatury	101
Seznam použitých internetových odkazů	102
Seznam obrázků	103
Seznam tabulek	107
Seznam grafů	109
Seznam výkresů.....	111

Seznam použitého značení

ρ	Objemová hmotnost keramického střepu	[kg/m ³]
σ	Pevnost v tlaku	[MPa]
A	Tlačná plocha	[mm ²]
B	Šířka tělesa	[mm]
ČSN	Česká státní norma	
F	Nejvyšší zatížení při porušení	[kN]
H	Výška tělesa	[mm]
L	Délka tělesa	[mm]
m	Hmotnost tělesa	[kg]
m ₁	Hmotnost zkušebního vzorku před vysušením	[kg]
m ₃	Hmotnost zkušebního vzorku po vysušení	[kg]
m _n	Hmotnost nasáknutého vzorku váženého na vzduchu	[kg]
m _s	Hmotnost suchého vzorku	[kg]
m _{Vn,si}	Hmotnost soli zkušebního vzorku	[g/l]
m _{ZM}	Hmotnost zkušebního materiálu	[g]
NV	Nasákavost	[%]
OM	Odběrné místo	
R	Pevnost zkoušeného materiálu	[MPa]
R _m	Výběrový aritmetický průměr náhodné veličiny R	
S _r	Výběrová směrodatná odchylka náhodné veličiny R	
S _x	Výběrová směrodatná odchylka náhodné veličiny X	
t _n	Koeficient pro určení konfidenčního intervalu	
V	Objem tělesa	[m ³]
V1 – V23	Označení vzorků	
V _{ZV}	objem zkušebního vzorku	[l]
W	Vlhkost materiálu	[%]

\bar{x}	Výběrový aritmetický průměr náhodně veličiny X	
$X_{Vn,si}$	Hodnota stupně zasolení zdiva	[%]
ZM	Zkušební místo	

1. Úvod

Cihla je jeden z nejstarších stavebních materiálů. Z historického hlediska je zaznamenáno první použití nepálených cihel 7500 let př. n. l. Jako stavební materiál se cihla postupně vyvíjela, jelikož nároky na fyzikálně-mechanické vlastnosti se postupně zvyšovaly. Zásadním krokem pro vylepšení vlastností bylo vypalování cihel. Tímto vylepšením získaly cihly větší pevnost, odolnost a také životnost. Vývoj cihel proběhl také po stránce rozměrové, od zaoblených tvarů, přes čtvercové tvary, až po v dnešní době nejvíce užívané obdélníkové tvary.

Cihelné konstrukce vykazují dlouhodobou životnost, ale je potřeba o konstrukce pečovat, jelikož cihly jako takové podléhají v nepříznivých podmínkách (např. vlhkost) rychlé degradaci. Vhodnými diagnostickými metodami lze dosáhnout zjištění a výsledků, na základě kterých se navrhne sanační zákrok. Hlavním účelem sanace je zvýšit životnosti materiálů a také životnost celé konstrukce.

Cílem této diplomové práce je v první teoretické části pojednat o problematice cihel a cihelného zdiva, popsat výrobu pálených cihel, příčiny degradace cihelných konstrukcí, působení vlhkosti ve zděných konstrukcích a účinky solí na fyzikálně-mechanické vlastnosti.

V praktické části se diplomová práce zaměřuje na stanovení obsahu solí a jejich účinky na cihelné zdivo u dvou zemědělských objektů. Prvním objektem je bývalá zemědělská usedlost v Malenovicích v okrese Frýdek-Místek. Objekt disponoval několika zemědělskými stavbami včetně několika staveb pro bydlení. Pro účel této diplomové práce bylo odebráno 18 vzorků pálených cihel, na kterých se stanovil obsah solí a jejich vliv na fyzikálně-mechanické parametry. Druhým objektem je bývalá sýpka v Dolních Životicích, kde byl proveden stavebně-technický průzkum s analýzou kritických míst. IN SITU byla provedena zkouška Kučerovou vrtačkou pro zjištění orientačních pevností. Do laboratoře bylo odebráno 5 vzorků, které byly podrobeny zkoušce vlhkosti a obsahu aktivních solí. Na závěr byl zhodnocen vliv solí na pevnostní a vlhkostní parametry cihel u obou staveb a také bylo ověřeno, zda tyto výsledky z obou staveb mezi sebou korespondují.

2. Pálené cihly a cihelné zdivo

2.1. Charakteristika cihelného zdiva

Pálené cihly a cihelné zdivo patří do stavební keramiky. Jedná se o jeden z nejstarších a nejrozšířenějších stavebních materiálů. Cihelné zdivo se v dnešní době používá ve formě cihel nebo cihelných tvárnic.

Jedním z hlavních důvodů je poměrně nízká cena oproti novodobým stavebním materiálům, což je typické například pro Porotherm. Dalšími důvody jsou snadné zpracování a manipulace při realizaci stavby, pevnost a trvanlivost (historické stavby staré až několik tisíc let lze nalézt a navštívit dodnes). Velkou výhodou je poměrně rychlá výstavba za použití cihelných tvárnic, které splňují i ta nejnáročnější kritéria, zejména tepelně izolační vlastnosti. Použitím cihelných tvárnic dochází také k vylehčení celé stavby. Spojení cihel nebo tvárnic je prováděno pomocí malty nebo speciálních lepidel, díky kterým je proces výstavby urychlen v porovnání s technologickými procesy u jiných stavebních materiálů.

Cihly plně pálené jsou v dnešní době již na ústupu. Výjimkou jsou například historické objekty, kde je potřeba stále používat cihly původních tvarů, ale i vlastností. Hlavním důvodem je zachování původního vzhledu a historické hodnoty.

V dnešní době se používají také tzv. klinkery, což jsou cihly, pro něž je typický tmavší a značně slinutý střep. Absorpce vody u těchto cihel je kolem 7 % a díky této vlastnosti získávají cihly klinker delší životnost. Hlavní rozdíl proti běžné pálené cihle je zejména v teplotě výpalu. U běžné cihly (Obr. č. 1) je teplota výpalu 700 - 800°C v porovnání s teplotou výpalu 1200-1400°C u cihel Klinker. [8]

Charakteristickým rysem cihel je tvar a barva. V posledních několika stoletích i v dnešní době je nejběžnější obdélníkový tvar, existují však i složitější tvary. Typickým poznávacím znakem cihel je oranžovo-červená barva. Barvu cihly získávají až při výpalu v pecích a odstín se může lišit od světle oranžové, sytě červené až po odstíny hnědé barvy. Zbarvení ovlivňuje obsah oxidů železa v hlíně, ze které se vytváří plastické těsto pro výrobu cihel.



Obr. č. 1 Cihla plná pálená [17]

2.2. Historie cihel

První nepálené cihly byly vyrobeny mezi řekami Eufrat a Tigris přibližně 7500 př. n. l. Jednalo se o stavby napodobující rákosové chýše, které stavěli lidé z hlíny. První cihly byly vyrobené ze směsi hlíny, slámy a vody. Tvar cihel připomínal bochníky uhnětených z hlíny na protilehlých stranách seříznutých, přičemž spodní plocha byla rovná oproti horní zaoblené ploše. Se stále vyššími stavbami se vyvíjel i tvar cihel. Vznikaly cihly s rovnými hranami, kde tvar nebyl obdélníkový jako v dnešní době, ale čtvercový. Hlavním důvodem byla stabilita, jelikož cihly se zaoblenými plochami nebyly pro dlouhodobou stabilitu i únosnost vhodné. Pro použití ve stavebnictví docházelo u nepálených cihel k sušení na slunci (Obr. č. 2). Sušení probíhalo minimálně 2 roky, teprve poté se používaly pro stavby určené k bydlení nebo pro stavby náboženské. První pálené cihly lze datovat do třetího tisíciletí před naším letopočtem. [18]



Obr. č. 2 Výroba nepálených cihel [20]

Cihly se začaly používat také na území Evropy v oblasti Řecka ve 4. tisíciletí př. n. l. Z počátku se používaly nepálené cihly čtvercového tvaru a s postupem času pálené cihly, které však byly velmi vzácné. Na území římské říše se výroba cihel stala obratnější a díky římským legiím, které používaly mobilní pece, došlo k rozšíření cihlářství do ostatních částí římské říše. [18]

Rozvoj cihlářství probíhal také v dalších oblastech. Příkladem lze uvést Čínu, kde byla práce v cihlářství určena hlavně pro nejchudší a nekvalifikované dělníky. Naopak mistr výpalu byl považován za velmi váženého a ctěného občana. Každý mistr měl svou značku (značky používali i Římané), kterou označoval cihly. V případě nekvalitního výrobku bylo známo, kde byla cihla vyrobena.

Nejznámější cihelnou stavbou na území Asie je bezpochybně Velká čínská zeď (Obr. č. 3), která se začala postupně budovat 221 př. n. l.



Obr. č. 3 Velká Čínská zeď [19]

V případě podmínek evropského kontinentu lze rozvoj cihlářství sledovat ve 12. století v období středověku, kdy se cihlářství rozšířilo z Itálie do severního Německa. Jednalo se o období tzv. cihlové gotiky, kdy se cihly používaly v architektuře pro stavbu gotických chrámů. Stavby tohoto typu byly nejrozšířenější na území Dánska, Německa, Polska a dalších pobaltských zemí, kde se cihly používaly především v případě nedostatku stavebního kamene.

V českých zemích se ve středověku cihly používaly jenom zřídka. V té době se spíše využívalo nepálených cihel, přičemž největší rozmach takzvaných vepřovic proběhl v 17. století. Cihly pálené byly poměrně drahou záležitostí a dostupné byly pro bohaté vrstvy obyvatelstva. Nejčastěji se cihly používaly jako fasádní vrstva, na štítech domů a nadstřešních částech komínů. [8]

Největší rozvoj cihlářství nastává počátkem 19. století. Do 19. století se cihly vyráběly ručně a vypalovaly v milířích. Po zrušení nevolnictví a roboty došlo k velké migraci obyvatel, kteří se usazovali ve městech a zvýšila se tak i poptávka po cihlách. Ruční výroba nestačila poptávce a docházelo proto k postupné mechanizaci při výrobě cihel. V roce 1854 je patentován vertikální lis poháněný koňmi a v roce 1859 již lis s parním pohonem.

Následoval rychlý vývoj mechanizace [10]:

- 1865- horizontální šnekový lis,
- 1875- revolverový lis na pálenou krytinu,
- 1933 - vakuový lis.

Stoupal také výkon zařízení i kvalita výrobků. S mechanizací postupovala i modernizace sušáren a pecí. Milíře byly nahrazeny energeticky úspornějšími kruhovými pecemi a později uplatňovanými tunelovými pecemi. Od roku 1910 začíná rozmach výroby děrovaných tvarovek, které postupně vytlačily cihly plné pálené. [10]

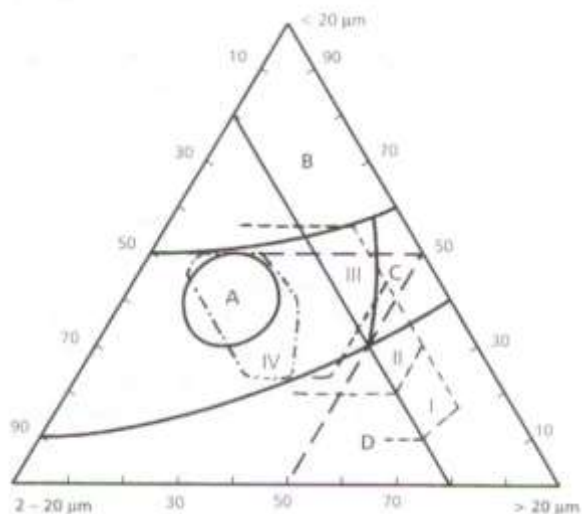
2.3. Suroviny pálených cihel

Cihlářské výrobky, včetně pálených cihel, jsou vyrobeny převážně z přírodních surovin. Z ekonomických důvodů cihlářské technologie zpracovávají cihlářské zeminy (Obr. č. 4) nejčastěji těžené v blízkosti cihlářských závodů. Mezi cihlářské suroviny lze zařadit spraše, sprašové hlíny, jíly a jílovce, zvětraliny břidlic a dále korekční suroviny – písky, zvětralé pískovce, popílky.

Základními cihlářskými surovinami jsou suroviny střepové. Podle jejich chování po smísení s vodou se rozdělují na [8]:

- tvárnivé (plastické) suroviny;
- netvárnivé (neplastické) suroviny.

Tvárnivé (plastické) suroviny umožňují vytvořit po smíchání s vodou plastické těsto, které lze tvarovat, sušit a poté vypálit. Do této skupiny patří jílovité suroviny (obsahují jílové minerály).



Obr. č. 4 Winklerův diagram znázorňující použitelnost cihlářských zemín s různou granulometrií pro základní typy cihlářských výrobků; vysvětlivky: vhodnost pro výrobu: I – surovina pro plné cihly, II – surovina pro duté a lehčené cihly, III – surovina vhodná pro střešní krytinu, IV – jemné cihlářské výrobky (stropnice, hurdisky); pevnost a plastičnost: A – nejhutnější skladba zrn, B – vysoké smrštění sušením, C – malá pevnost střepu, D – nízká plastická pevnost těsta [8]

Netvárlivé (neplastické) suroviny nejsou určeny k vytváření plastického těsta, pouze modifikují chování směsi při sušení a výpalu (ovlivňují výsledné vlastnosti výrobků). Mohou být přírodního původu (sedimentární horniny) nebo se může jednat o druhotné suroviny (popílek, piliny, kaly). Tyto suroviny se dělí na [8]:

- ostřiva, které svým složením ovlivňují tvárliвість těsta a chování během sušení a pálení (snižují plastičnost, smršťování), přičemž nejčastěji se používá písek (křemen), jíl (šamot), popílek;
- lehčiva, které svým složením ovlivňují objemovou hmotnost vypáleného střepu, a tím zlepšují tepelně izolační vlastnosti výrobku. Tyto látky působí buď přímo (po vyhoření vzniknou póry) nebo nepřímo (působí především nízkou objemovou hmotností v surovinové směsi).

2.4. Výroba pálených cihel

Výrobní fáze pálených cihel lze rozdělit do několika fází [8]:

- těžba cihlářské suroviny;
- předpříprava – haldování (odležení) suroviny;
- příprava – míšení, zdrobňování, homogenizace, ostření suroviny;
- vytváření (lisování) výrobků;
- sušení;
- výpal;
- skladování a expedice hotových výrobků.

Těžba cihlářských surovin se provádí povrchovým způsobem za pomoci těžební techniky (např. rypadel). Ve většině případů se těžba provádí v blízkosti výrobního závodu. Těžební prostor se nazývá hliniště (Obr. č. 5). Vytěžená surovina se poté přepravuje pomocí nákladních vozidel nebo dopravníkovými pásy k místu uskladnění.



Obr. č. 5 Vrstvy spraše [12]

Předpříprava suroviny znamená její uskladnění neboli haldování. Hlavními principy haldování jsou především vytvoření zásob pro výrobu a také homogenizace suroviny.

Po předpřípravě následuje samotná příprava cihlářské suroviny. Hlavním principem přípravy cihlářské suroviny je modifikace vlastností vytěžené suroviny tak, aby finální těsto pro výrobu mělo co nejlepší vlastnosti. Modifikací vlastností se rozumí úprava množství vody potřebné k přípravě těsta, použití lehčiv, ostřiv nebo jiných příměsí. Velmi důležité je provedení drcení, mletí a míšení pro dokonalou homogenizaci.

Pro modifikaci vlastností plastického těsta se využívají tyto zařízení:

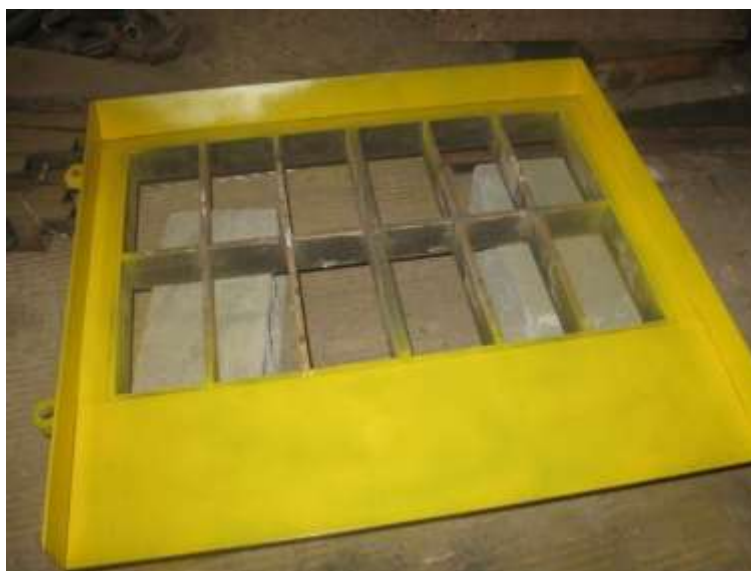
- skříňové či bubnové podavače pro podávání a dávkování;
- kolové mlýny, mísidla a protlačovací mísidla pro míšení a homogenizaci;
- kolové mlýny (Obr. č. 6), válcové mlýny pro drcení a mletí;
- zásobníky pro skladování a odležení.

Velmi důležitým krokem v přípravě výrobku je také propařování suroviny. Provádí se zpravidla horkou párou a poté se ve vakuové komoře šnekového lisu uskuteční odvzdušnění těsta. Vlhkost těsta se v tomto místě pohybuje v rozmezí 18 - 22%. [8]



Obr. č. 6 Kolový mlýn [13]

Dalším krokem ve výrobě cihel je tvarování cihel do požadovaných rozměrů a tvarů. Pro výrobu cihel se nejčastěji využívá plastické těsto, které je nalito do forem s tvarem budoucí cihly (Obr. č. 7). Další možností výroby cihel je tažení (protlačování) plastického těsta skrze tvarované ústí, které dává výrobku tvar po jeho ložné ploše. K tažení se používají šnekové lisy, ze kterých vychází pásmo těsta stálého profilu. Toto pásmo se následně pomocí strun odřezává na kusy potřebné délky respektive výšky.



Obr. č. 7 Výrobní forma [14]

Po vytvarování je velmi důležitým krokem sušení cihel. Jedná se o výrobní proces, při kterém dochází ke snížení obsahu vody v materiálu. Nadbytečnou vodu je podstatné odstranit z výrobků před výpalem, protože v opačném případě by došlo k deformaci cihel.

Doba určená k sušení cihel je závislá jak na druhu cihly, tak na typu sušárny (kanálové nebo komorové viz obr. č. 8). Zpravidla se doba sušení pohybuje v rozmezí 12 hodin až 3 dny. Z původní vlhkosti cca 18-20% dojde ke snížení vlhkosti na 1-2%. Při sušení je také velmi nutné dbát na míru smrštění, která by neměla přesáhnout 4-6%. [8]



Obr. č. 8 Komorová sušárna [15]

Další částí výrobního procesu je výpal cihel, při kterém cihly získávají své konečné vlastnosti. Zároveň se jedná o energeticky nejnáročnější proces z celého procesu výroby cihel. Při výpalu dochází jak ke změnám fyzikálním, tak ke změnám chemickým.

Chronologicky lze celý postup výpalu rozdělit na [10]:

- postupný ohřev výrobku;
- výpal výrobku;
- izotermická výdrž výrobku při vypalovací teplotě;
- postupné ochlazení výrobku na okolní teplotu.

Při celém procesu výpalu dochází k dalšímu postupnému odpařování vody, vyhořívají organické látky a také dochází k rozkladu chemických sloučenin. V této fázi dochází ke snížení

objemové hmotnosti vlivem vysychání a vyhoření organických částí, a také k dalšímu smrštění. Smrštění není při výpalu tak výrazné jako při sušení, zpravidla 0,5 – 1%. Délkové změny jsou považovány za přijatelné v tom případě, kdy nedochází k nežádoucí deformaci výrobku. Při výpalu dochází u jílových minerálů k nevratnému procesu ztráty tvárnosti. [8]

Výpal probíhá převážně v tunelových pecích (v minulosti kruhové či periodické pece) při teplotách od 900°C do 1200 °C. Jednotlivé změny, definované působením teplot, jsou následující [8] :

- 500 - 600 °C dehydratace jílových minerálů;
- cca 950 °C dehydratované aluminosilikáty se za odštěpení části SiO_2 v amorfnní formě mění ve sloučeninu spinelového typu;
- nad 1100 °C tato sloučenina začíná přecházet na mullit $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$;
- nad 1200 °C se odštěpený amorfnní SiO_2 mění na cristobalit.

Doba výpalu se odvíjí od typu výrobku, nicméně výpal probíhá 10-30 hodin. Výhodou používaných tunelových pecí je možnost nepřetržitého provozu. [8]

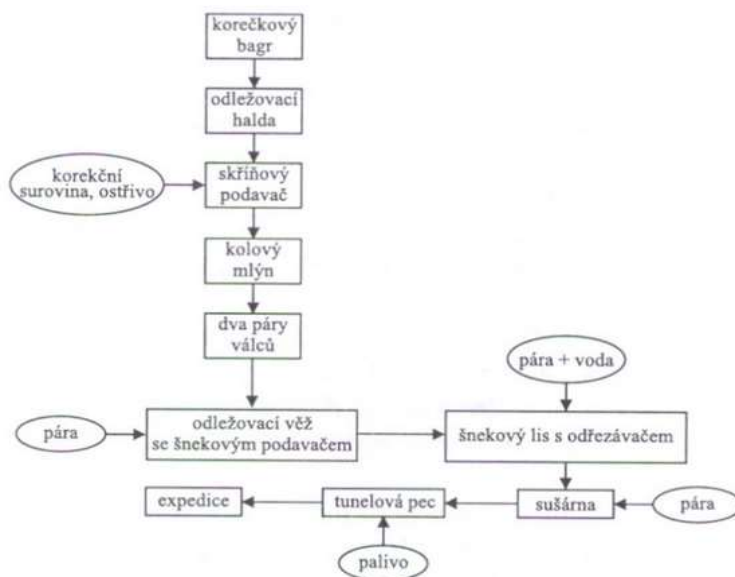
Proces výpalu v tunelových pecích (Obr. č. 9), se rozděluje konkrétně na [10]:

- zahřívací část (dochází k umístění vysušených cihel na pohyblivé pecní vozíky);
- žárové pásmo (v této sekci probíhá proces výpalu a v tomto místě uprostřed tunelové pece je také nejvyšší teplota);
- chladicí část (dochází k postupnému ochlazování vypálených cihel na nižší teplotu).



Obr. č. 9 Tunelová pec [16]

Po vypálení a ochlazení cihel na okolní teplotu je celý proces výroby cihel (Obr. č. 10), téměř u konce. Poslední částí výrobního procesu je skladování a následná expedice. U cihel se provede kontrola kvality – vizuální zhodnocení a poklepání gumovým kladívkem. Poté se cihly uskladní na palety a poté zapáskují, případně zabalí do smršťovací fólie.



Obr. č. 10 Schéma uspořádání cihlářské linky plných, podélně nebo příčně děrovaných cihel [8]

2.5. Vlastnosti pálených cihel

Vlastnosti pálených zdících prvků (Tab. č. 1) včetně cihel ovlivňuje zejména kvalita výchozích surovin, způsob zpracování surovin a teplota výpalu. Například čím vyšší je teplota výpalu, tím hutnější je výsledný střep (vysoký podíl sklovité fáze). [8]

Pálené zdící prvky jsou velmi vhodným stavebním materiálem zejména díky dlouhodobé stabilitě, trvanlivosti, mrazuvzdornosti, dobrým tepelně a zvukově izolačním vlastnostem. Velkou výhodou je jejich nehořlavost (dle ČSN 73 0821 ED.2), jsou ekologické při výrobě i používání a poměrně snadno recyklovatelné.

Pálené cihly a zdící prvky se používají zejména pro výstavbu nosných obvodových stěn, vnitřních nosných stěn a příček. Cihly pálené mají mít požární odolnost dle normy ČSN 73 0821 ED.2 minimálně 120 minut a pro příčky 45 minut. [8]

Velmi důležitou vlastností zdiva je také zvuková izolačnost, která se vyjadřuje jako index neprůzvučnosti R_w a měří se v (dB) na tloušťku zdiva (mm). U pálených cihel dosahuje hodnot $R_w=43/100$, $52/290$ až $59/440$ (dB/mm). [8]

U zděných konstrukcí nejen z pálených cihel jsou kladeny nároky na statické i estetické vlastnosti, které je potřeba zachovat. S ohledem na nároky se průběžně přizpůsobují požadavky na statické parametry, trvanlivost, tvorbu tepelných a zvukových bariér.

Mezi důležité vlastnosti pálených cihel, které se ověřují příslušnými zkouškami, patří:

- pevnost v tlaku dle ČSN EN 772-1;
- objemová hmotnost dle ČSN EN 772-1;
- vlhkost dle ČSN ISO 12570;
- nasákavost a pórovitost ČSN 72 5010;
- mrazuvzdornost ČSN 722601;
- stanovení obsahu solí dle ČSN EN 196-2;
- stanovení skutečných rozměrů ČSN EN 772-1.

Tab. č. 1 Porovnání vybraných vlastností cihelných prvků [8]

Název	Rozměr [mm]	Hmotnost [kg]	Pevnost v tlaku σ [Mpa]	Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]	Tepelný odpor R [m ² K·W ⁻¹]
CPP	290x140x65	4,5	15	1600-1900	0,18/140
Cihla děrovaná	290x290x140	13,0	10	1100	0,92/290
Cihla vylehčená	290x145x140	5,8	10	1000-1100	0,72/290
Klinker plná	290x140x65	5,9	60	2200	0,16/140
Vepřovice	290x140x60	4,9	5	2000	1,30/140
Porotherm 44 profi	440x248x249	20,4	15	750	3,75/440
Keratherm P+D	440x245x238	20,4	10	734	2,19/440

Mezi vlastnosti, které jsou u zabudovaných cihel významně sledovány, patří zejména vlhkost, která velmi nepříznivě ovlivňuje pevnost cihel a následnou trvanlivost konstrukce.

Co se týče cihelných výrobků, tak sledovanou charakteristikou je i pórovitost, kterou lze rozdělit na 3 typy [1] :

- zdánlivá pórovitost, která udává, jaký je poměr objemu otevřených pórů vzorku k jeho celkovému objemu včetně dutin a pórů;
- skutečná pórovitost, která udává poměr otevřených i uzavřených pórů zkušebního vzorku k jeho objemu včetně všech pórů, přičemž tato pórovitost je vždy větší než zdánlivá pórovitost, protože zahrnuje také objem uzavřených pórů;
- uzavřená pórovitost, která udává poměr uzavřených pórů vzorku k jeho objemu včetně pórů.

Nasákavost je další sledovanou vlastností, která nepříznivě ovlivňuje životnost cihel a souvisí i s dalšími fyzikálně – mechanickými vlastnostmi, např. trvanlivostí, vlhkostí, objemovou hmotností.

Velmi nepříznivým jevem cihelných konstrukcí je také výskyt solí. Jednak je to problém estetický, ale především dochází k narušení cihel krystalizačními a rekrystalizačními tlaky s následnou laminární korozí, což vede k postupné degradaci a ztrátě únosnosti celé konstrukce.

Mezi hlavní sledované fyzikální a mechanické vlastnosti u cihelného zdiva patří objemová hmotnost a pevnost v tlaku. Obě tyto vlastnosti mají přímý vliv na trvanlivost konstrukce.

Objemová hmotnost je sledována, jelikož významně ovlivňuje další parametry cihelného zdiva. Objemovou hmotnost ovlivňuje zejména pórovitost, konkrétně čím vyšší je obsah pórů, tím nižší je poté objemová hmotnost. Příkladem lze uvést degradaci na obrázku 11, kde v průběhu životnosti konstrukce došlo k opotřebení konstrukce s největší pravděpodobností působením teploty, vody i mechanickým poškozením. Následkem je postupný vznik otevřených pórů a postup degradace hlouběji do konstrukce. Klíčové je zejména zamrznutí vody v pórové struktuře během zimního období, kdy poté dochází k degradaci zdiva vlivem zvýšeného objemu zmrzlé

vody (až o 9%) a zdivo tak ztrácí na objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku, trvanlivosti a životnosti.
[8]

Pevnost v tlaku je také základní vlastností ovlivňující dlouhodobou životnost a stabilitu konstrukce. Pevnost v tlaku ovlivňuje právě objemová hmotnost prvků, způsob výroby (zejména teplota výpalu cihelného střepu) a vlhkost, která redukuje pevnost a následně urychluje degradační procesy.

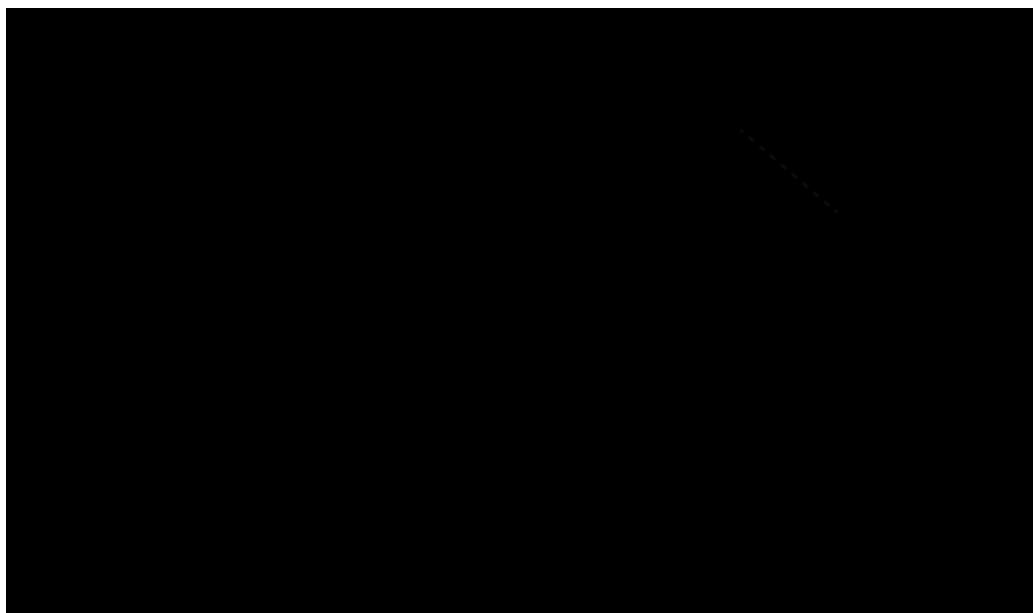


Obr. č. 11 Degradované zdivo vlivem zmrazovacích cyklů [21]

3. Degradace cihelného zdiva

Jedním z hlavních cílů a záměrů při projektování nových staveb, rekonstrukcí a modernizací je zajištění trvanlivosti cihelného zdiva, jeho spolehlivosti a životnosti navrhovaných staveb. Proto je nutné zodpovědět otázky, týkající se degradačních procesů cihelného zdiva. Degradační procesy jsou hlavním důvodem, proč dochází ke zhoršení vlastností cihelného zdiva a poté celé konstrukce. Hlavními příčinami degradace jsou v čase proměnné parametry vnějšího prostředí, ve kterém se konstrukce nebo objekt nachází. Rychlost a průběh degradace je poté dán vlastnostmi cihelného zdiva (složení, struktura apod.). Díky spolupůsobení vlastností zdiva i proměnných parametrů vznikají podmínky pro zahájení a rozvoj degradačních procesů mechanických, fyzikálních, chemických a biologických.

Pro stanovení požadované životnosti a trvanlivosti cihelných konstrukcí je potřeba znát účinky a vlivy degradačních procesů (Obr. č. 12). Na základě znalostí degradačních procesů a jejich příčin je možné navrhnout potřebná opatření. Předcházením vzniku poruch a ztrátě vlastností zdiva je v dnešní době základem pro spolehlivý návrh konstrukce s dlouhodobou životností.



Obr. č. 12 Účinky a vlivy působící na stavební konstrukce, materiály a degradační procesy [11]

Důležitým faktorem pro působení degradačních procesů u cihelného zdiva je struktura materiálu. Každý materiál včetně cihly má vlastní pórovitý systém. Tento parametr podstatným způsobem ovlivňuje přenos vlhkosti (v kapalném i plynném skupenství), která může být nositelem agresivních látek (např. solí) přenášených do vnitřní struktury cihel. Působením agresivních látek poté dochází ke změně chemických, fyzikálních i mechanických vlastností. Je tedy zřejmé, že vlastnosti cihel a cihelného zdiva jsou ovlivňovány v čase a jsou závislé na prostředí, ve kterém se vyskytují. Mezi hlavní vnější vlivy ovlivňující degradační procesy patří teplota, vlhkost, působení různých forem záření, chemických i biologických vlivů.

3.1. Problematika stávajících zděných staveb

Velmi častou příčinou poruch konstrukcí zděných staveb je pokles pevnosti zdiva v tlaku, projevující se vznikem trhlin, drcením a opadáváním omítky nebo povrchových vrstev zdiva. Jakost zdiva, jeho únosnost i trvanlivost je dána kvalitou jednotlivých cihel, malty jako spojovacího prostředku a samotným provedením zdiva při výstavbě, případně je důsledkem působení degradačních procesů, vlhkosti a agresivního prostředí.

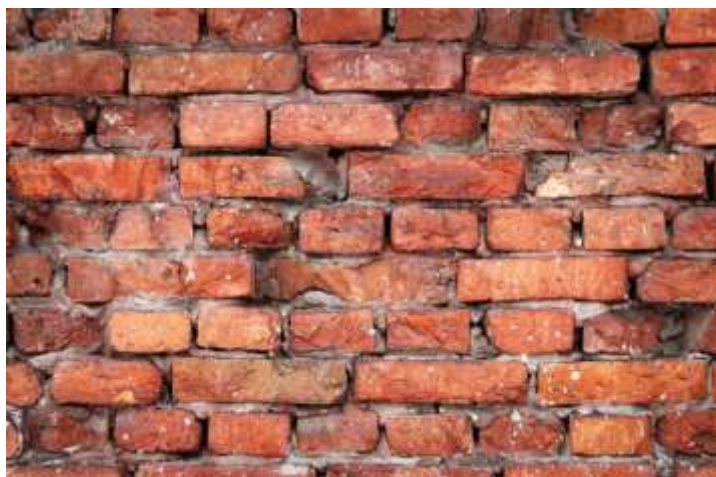
Pevnost zdiva v tlaku a tahu závisí na [11]:

- rozměrech cihel, pevnosti cihel v tlaku a v tahu;
- tloušťce malty, soudržnosti se zdíciými prvky, pevnosti malty v tahu a v tlaku;
- vazbě cihel ve zdivu;
- přítomnosti vad zdiva, pocházejících již z projektové dokumentace;
- přítomnosti vad zdiva, pocházejících z vad jednotlivých konstrukčních prvků;
- přítomnosti vad zdiva, pocházejících z provádění zdiva;
- výskytu poruch zdiva, které nastaly během celé doby užívání objektu;
- narušení jednotlivých cihel a malty degradačními procesy.

Charakteristické vady a poruchy zdiva mohou být velmi často způsobeny nedokonalou projektovou dokumentací nebo případně nedokonalým provedením (např. nedodržení vazby mezi cihlami). Mezi nejčastější vady zdiva, projevující se vznikem poruch, nedostatečnou únosností, degradačních procesů, patří:

- nevyhovující kvalita cihel (např. nadměrná pórovitost, nedostatečná pevnost v tlaku a tahu, vysoká nasákavost, odlišná kvalita jednotlivých cihel použitých při výstavbě);
- nevyhovující kvalita malty (např. složení, nadměrná velikost kameniva, smršťování, špatná zpracovatelnost, nestejnorodost);
- nevhodné provedení (nedodržení rovnosti a svislosti zdících prvků viz obr. č. 13);
- zvýšená vlhkost (více v kapitole 3.2., 3.3.);
- zvýšený obsah solí (více v kapitole 3.4.).

Důsledkem degradačních procesů je nejen snížení objemové hmotnosti zdiva, narušení jeho celistvosti, ale především se snižuje únosnost zdiva. Poruchy svislých nosných konstrukcí mají významný vliv na statiku konstrukce. Dochází k ovlivnění přenosu účinku svislých a vodorovných zatížení a může dojít až ke zřícení konstrukce.



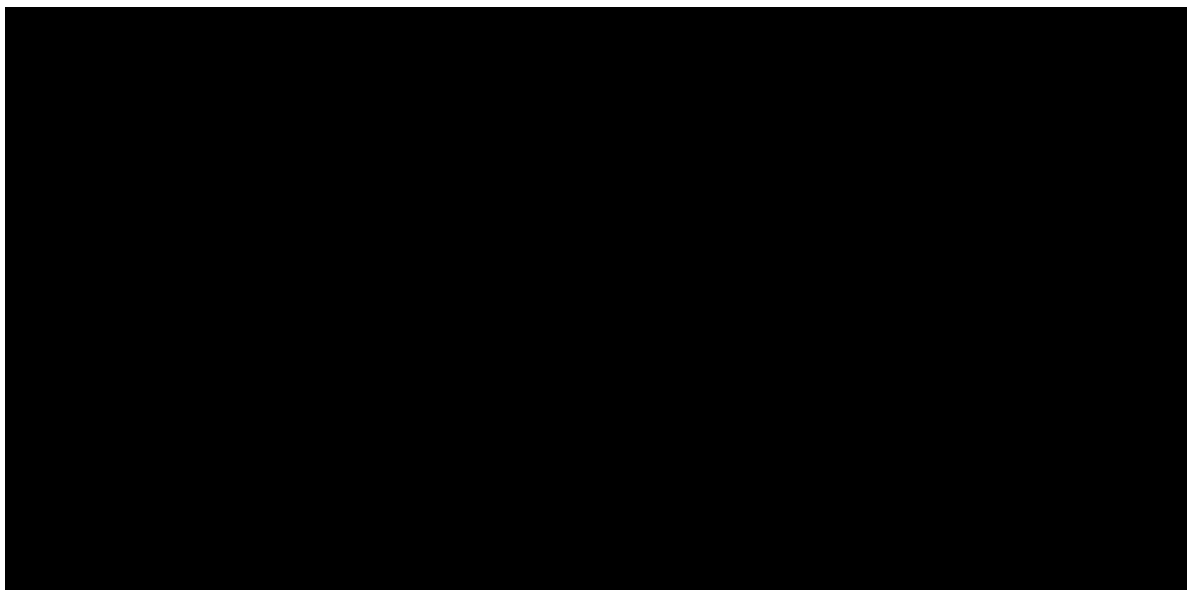
Obr. č. 13 Nekvalitně provedené cihelné zdivo [22]

3.2. Vliv působení vlhkosti v konstrukci

Jelikož je diplomová práce zaměřena na problematiku solí a vlhkosti, bude v následujících podkapitolách z degračních faktorů blíže popsáno působení vody a solí na zděné konstrukce.

Poruchy zděných konstrukcí vystavených vlhkému prostředí (Obr. č. 14), jsou jednou z nejčastějších příčin degradace. Jedná se o degradaci a rozpad jednotlivých cihel a malty ve spárách, uvolňování cihel z konstrukce, postupné rozrušování a rozpad zdiva s následným snížením únosnosti a ztrátou způsobilosti cihelné konstrukce. Problém nespočívá pouze v redukci životnosti konstrukce, ale vlhkost také velmi ovlivňuje možnosti využívání prostor (např. navlhnutí vybavení interiéru).

K nejvíce vlhkostí postiženým místům v objektech patří zejména nejnížší podlaží. Se zvýšenou relativní vlhkostí vzduchu nad 60% vzrůstá také vlhkost zdiva nad 10% a vlhkost dřevěných konstrukcí nad 20% (podlahy, rámy oken, dvěří, trámy uložené ve zdivu apod.), která je příčinou postupné degradace stavebních materiálů. Velmi často lze tyto podmínky naměřit v objektech, které nejsou trvale vytápěny a užívány, jako např. církevní stavby, muzea, archivy, zámky, zemědělské objekty apod. [7]



Obr. č. 14 Účinek vlhkosti na stavební konstrukce a materiály [7]

Vlhkostí postižená místa jsou velmi riziková také z důvodu působení mrazu. Vlhkost v kombinaci s mrazovými cykly a případně i s obsahem vodou rozpustných solí vede velmi často k dlouhodobým degradačním procesům, které způsobují rozpad cihelného zdiva – tzv. laminární korozi (Obr. č. 15).



Obr. č. 15 Účinek vlhkosti a mrazových cyklů na cihelné zdivo [23]

Vlhkost má také velmi negativní vliv z estetického a hygienického hlediska (Obr. č. 16). Ve většině případů dochází ke zjištění vlhkosti v konstrukci právě díky nálezům vlhkostních map na povrchu zdiva. Někdy je možné vidět neodborně provedenou sanaci, kdy problematikou neznalý člověk odstraní navlhlou omítku a poté provede omítku novou, případně pouze vlhkostní mapy přemaluje novým nátěrem. To je pouze estetické a velmi krátkodobé řešení, neboť nedošlo k odstranění primárního zdroje vlhkosti, a na takto upraveném povrchu se vlhkost objeví znovu.



Obr. č. 16 Účinek vlhkosti na stavební konstrukce a materiály

3.3. Zdroje vlhkosti

Podle způsobu a místa vnikání do cihelné konstrukce (Obr. č. 17), lze vodu rozdělit ve skupenství kapalném a plynném na [7]:

- atmosférickou vodu – jde o vodu rozptýlenou v ovzduší, která je tvořena vlhkostí vzduchu, srážkami a podporujícími vlivy jako je chemismus látek nebo dějů, tvar budov, pohyb vzduchu apod.;
- podpovrchovou vodu – jde o vodu, nacházející se v zemině nebo pod základy objektů, která se dále dělí na vodu půdní, podzemní (pod hladinou podzemní vody), gravitační (v zeminách, kde jsou částice větší než 1 mm), kapilární (dělenou na kapilárně vztlínající a kapilárně zavěšenou – zadržovanou povrchovými vrstvami dlouhodobě např. po srážkách);
- provozní vlhkost – jde o vodu, která působí na stavební objekt a je způsobena technologickými procesy uvnitř objektu.



Obr. č. 17 Zdroje zvýšené vlhkosti zdiva [7]

V dnešní době se velmi často používá dělení poruch (zdrojů) z hlediska výskytu vlhkosti, a to na [7]:

- neexistující hydroizolační vrstva spodní části stavby (především u starších staveb cihelného původu, které sloužily k méně náročným účelům);
- nevhodný návrh hydroizolační vrstvy nebo materiálu (špatně posouzené podmínky pro založení objektu);
- nevhodné provedení hydroizolační vrstvy (vzájemné spojení jednotlivých vrstev izolace, zakončení izolace ve styku s terénem, nevhodné klimatické podmínky);
- změna podmínek užívání objektu (původní účel užívání objektu byl změněn) nebo došlo k změně vnějších vlivů (prostředí je více agresivní např. změnou klimatu nebo působením okolních staveb);
- změna vnitřních vlivů objektu (změna statických parametrů, změna v provozu objektu, změna tepelně-technických podmínek v konstrukci).

3.3.1. Klasifikace vlhkosti

Vlhkost lze definovat jako poměr mezi hmotností mokrého materiálu k hmotnosti suchého materiálu. Nejčastěji se vlhkost zjišťuje na základě diagnostických metod. IN SITU lze použít např. odporový vlhkoměr, laboratorně se praktikuje metoda gravimetrická (stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě). Norma ČSN P 73 0610 (Tab. č. 2) umožňuje vlhkost klasifikovat na základě vyjádření procentuálního hmotnostního podílu vlhkosti v konstrukci.

Tab. č. 2 Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610 [5] (w_h je vlhkost v % hmotnosti)

		w_h	<	3,0 %	vlhkost velmi nízká
3,0 %	\leq	w_h	<	5,0 %	vlhkost nízká
5,0 %	\leq	w_h	<	7,5 %	vlhkost zvýšená
7,0 %	\leq	w_h	<	10,0 %	vlhkost vysoká
10,0 %	\leq	w_h			vlhkost velmi vysoká

3.3.2. Metody ochrany před vlhkostí

Pro stanovení správného postupu odvedení vlhkosti ze zdiva a vytvoření ochrany před průnikem vlhkosti do zdiva je potřeba znát příčinu vzniku vlhkosti. Prvním krokem ke zjištění příčiny vlhkosti je analýza vlhkostních map v objektu. Je možné, že příčinou vlhkosti mohou být pouze poškozené rozvody vody v objektu nebo špatné napojení okapů. Pokud se zvýšená vlhkost vyskytuje v objektu nejen lokálně, je pravděpodobné, že se jedná o rozsáhlejší problém. Detailnější informace lze získat na základě stanovení tzv. vlhkostního profilu.

Návrhy k odstranění vlhkosti lze rozdělit do čtyř skupin [7]:

- odvětrání vlhkého vzduchu do vnějšího prostředí;
- vytvoření bariér ve zdivu v místech, kde proniká vlhkost;
- zajištění odtoku vody v konstrukcích do míst pro objekt neškodných;
- úpravy povrchu zdiva umožňující prostup vlhkosti do vnějšího prostředí (např. sanační omítky).

Úpravy lze rozdělit na povrchové a na úpravy zasahující do samotné konstrukce. Pokud je vlhkost zdiva v konstrukci ve vyšších hodnotách, tak se většinou navrhuje kombinované metody úprav.

Hlavním cílem sanačních úprav je snížit vlhkost v konstrukcích do hodnot, které nebudou negativně ovlivňovat únosnost a životnost konstrukce. Mezi hlavní metody sanace vlhkého zdiva náleží [20]:

- Podsekání zdiva – postup, který je uplatňován většinou u smíšeného zdiva. Principem této metody je vybourávání zdiva v malých úsecích. Podkladová vrstva se postupně vyrovnává a po vložení hydroizolační vrstvy se dozdivá.
- Podřezání zdiva lanovou pilou (případně řetězovou) – princip této metody spočívá v podřezávání zdiva ve spáře v úsecích od 80 – 100 cm. Následně jsou do mezer vkládány hydroizolační fólie a současně se do těchto mezer vkládají i pevnostní klíny, které zamezují sedání. Mezery jsou poté vyplněny maltou.

- Izolace pomocí zarážení nerezových plechů (Obr. č. 18) – hydroizolačním prvkem u této metody jsou vlnité nerezové plechy, které se do maltové spáry zdiva postupně zarážejí. Výhodou této metody je, že se zdivo nepodřezává a nedochází k sesedání zdiva (statika konstrukce je nezměněna). Tuto metodu nelze použít, pokud je zdivo provedeno nekvalitně – průběžná spára není vodorovná nebo v případě zdiva smíšeného. Metoda je velmi nevhodná i v případě, kdy je zdivo provedeno například z nepálených cihel nebo u cihel s nízkou soudržností (může dojít k destrukci zdiva v místě sanace).



Obr. č. 18 Izolace pomocí zarážení nerezových plechů [24]

- Elektroosmóza – principem této metody je vytvoření elektrického pole, které působí na molekuly vody a brání vztlínání vody do zdiva. Elektrody umístěné na povrchu zdiva poté odvádí vodu zpět do země.
- Chemická injektáž – metoda sanace, která je používána nejčastěji u budov historického charakteru, u kterých není možné podřezání zdiva. Principem metody je navrtání otvorů do zdiva, do kterých je napuštěna chemikálie s hydroizolačním účinkem. Pronikáním chemikálie do póru zdiva vznikne následně nepropustná vrstva.

3.4. Chemická degradace zdiva - působení solí

Mezi zásadní chemické degradační procesy lze zařadit také působení solí, jehož princip spočívá v chemických reakcích mezi tuhou a kapalnou, případně plynnou fází. Kromě samotné chemické reakce probíhá zároveň proces přenosu reagující látky v materiálu. Bez zajištění přenosu aktivní reagující látky a účinných složek solí by nemohl celý proces degradace probíhat.

Působením chemických reakcí solí a některých dalších látek ve stavebním materiálu dochází ke změně pórového systému, což je charakteristické právě pro chemické degradační procesy. Soli, kyseliny a další agresivní látky, které se vyskytují ve spodních vodách, se poté infiltrují do pórového systému základů a dalších konstrukcí. V zimním období, kdy dochází k posypu vozovek solí, se poté do pórového systému dostávají další agresivní látky (kromě síranu i chloridy).

Soli jsou po chemické stránce binární nebo vícesložkové sloučeniny složené z kationtů a aniontů, které vykazují různý stupeň rozpustnosti. U cihelného zdiva je podstatným kritériem právě rozpustnost solí, jelikož velký podíl na degradačních procesech v cihelném zdivu mají především ve vodě dobře nebo poměrně dobře rozpustné soli. Nerozpustné nebo téměř nerozpustné soli mají prakticky zanedbatelný vliv (např. uhličitán vápenatý CaCO_3 nezpůsobuje žádné poruchy, je součástí pojiv u omítek a malt). [7]

Jednou z hlavních příčin degradace cihelného zdiva je krystalizace, rozpouštění solí, přenos rozpustných solí, případně jejich rekrystalizace, což má za následek postupné narušování materiálu a konstrukcí. V důsledku těchto chemických účinků dochází k objemovým změnám a následnému potrhání cihelného zdiva.

Nejčastěji vyskytující se soli, které způsobují degradační procesy, jsou sírany, chloridy a dusičnany (Tab. č. 3). Méně obvyklé vodorozpustné soli jsou uhličitany a dusitany.

Zdroje solí lze rozdělit do několika hlavních skupin [7]:

- soli, které se na stavbě v použitých materiálech vyskytují (cihly, písek apod.);
- soli, které se do konstrukce přenesly působením vztlínající vlhkosti z okolního terénu nebo pronikáním z jiných částí budovy;
- soli, které vznikly chemickou degradací materiálu použitých ve stavbě vlivem působícího ovzduší (např. sírany reakcí karbonátů s oxidy síry – složka kyselých dešťů);
- soli biologické, které vznikly činností mikroorganismů, např. přeměnou močoviny v dusičnany;
- soli, které vznikly důsledkem sanačních opatření (např. ze sodného skla vzniká uhličitán sodný).

Tab. č. 3 Nejdůležitější vodorozpustné soli ve stavebních materiálech [7]

		Rozpustnost [g/litr roztoku]
Sírany		
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Síran vápenatý dihydrát, sádrovec	2,4
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Síran hořečnatý heptahydrát, epsomit	1172
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Síran sodný dekahydrát, thenardit	583
Na_2SO_4	Síran sodný bezvodý, mirabilit	481*
K_2SO_4	Síran draselný, arkanit	111
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$	Ettringit, Candlotova sůl	–
Chloridy		
$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Chlorid vápenatý hexahydrát, antarkticit	5359
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Chlorid vápenatý dihydrát, hydrofilit	1281
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Chlorid hořečnatý, bischofit	3051
NaCl	Chlorid sodný, halit, sůl kamenná	360
KCl	Chlorid draselný, sylvit	340
Dusičnany		
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Dusičnan hořečnatý hexahydrát, nitro-magnesit	2805
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Dusičnan vápenatý tetrahydrát, nitrokalcit	4305
NaNO_3	Dusičnan sodný, sanytr, nitronatrit	880
KNO_3	Dusičnan draselný, nitrokalit	316
NH_4NO_3	Dusičnan amonný	1920
Uhličitany		
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Uhličitán sodný dekahydrát, soda	217
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Uhličitán sodný heptahydrát, soda	489*
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Uhličitán sodný monohydrát, termonatrit	261
$\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Uhličitán draselný dihydrát, potaš	110

3.4.1. Krystalizace a hydratace solí

Negativní účinky vodorozpustných solí na porézním materiálu způsobují především dva procesy – krystalizace solí a hydratace solí.

Krystalizace solí

Proces krystalizace solí se odvíjí od porózy cihelného zdiva. Pokud je obsah menších pórů ve zdivu vyšší než obsah větších pórů, je materiál náchylný k působení krystalizace. Je to z toho důvodu, že krystalizace začíná vždy ve větších pórech. V menších pórech vznikají působením vody roztoky (chemické sloučeniny), které se poté otevřenými póry přenáší do větších pórů a zde dochází k růstu krystalů (Obr. č. 19). Pokud dojde k vyčerpání roztoku (poklesem vlhkosti se přeruší chemická reakce), dochází následovně k zastavení tvorby krystalů ve větších pórech. Pokud obsahuje materiál větší obsah velkých pórů, často nedojde k vyplnění pórů krystaly, protože v menších pórech není dostatek roztoku k zásobení růstu. Znamená to, že materiál s vyšší porózitou není automaticky méně odolný vůči působení solí.

Samotný proces tvorby krystalu je proces, při kterém dochází v dutinách nebo pórech ke zvyšování koncentrace soli daného roztoku. Kritický okamžik nastane, pokud je překročena hranice rozpustnosti soli a nadbytečná sůl začíná postupně krystalizovat. Významnými vlivy působící na krystalizaci jsou teplota a stupeň přesycení roztoku - čím vyšší hodnoty, tím rychlejší je tvorba krystalů a následně i tlaků v dutinách či pórech.

Cihelné zdivo a jednotlivé cihly degradují pouze v případě, kdy soli krystalizují pod povrchem. Pokud dochází ke krystalizaci na povrchu zdiva tak dochází ke vzniku výkvětů. V těchto případech se jedná často pouze o povrchové poškození zdiva (Obr. č. 20). V případě téměř nerozpustných solí (např. sádrovec) může na povrchu zdiva dojít k nebezpečí vzniku nepropustné krusty, což může následně vést k odtržení části podkladu.



Obr. č. 19 Schematické znázornění nárůstu krystalů soli v porézním systému [7]

Hydratace solí

Hydratace solí je proces, při kterém se vytváří tzv. hydráty. Hydráty jsou vodorozpustné soli, které vážou v krystalické mřížce definovaný počet molekul vody. Jako příklad lze uvést síran sodný, který krystalizuje v závislosti na podmínkách na bezvodý Na_2SO_4 nebo jako dekahydrát $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ [7]. Při přechodu z jedné formy hydrátu do druhé dochází ke značnému nárůstu objemu soli (Tab. č. 4 a 5), což má za následek velké hydratační tlaky.

Tab. č. 4 Objemové změny probíhající při hydrataci některých látek [11]

Výchozí látka	Reagující složka	Vznikající sloučenina	Průměrné zvětšení objemu (%)
Ca(OH)_2	CO_2	CaCO_2	6
Ca(OH)_2	$\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	30
Ca(OH)_2	$2\text{HCl} + 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	305
$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$5\text{H}_2\text{O}$	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	145
$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	H_2O	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	11
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$2\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	35
$\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$2\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	24

Tab. č. 5 Napětí vznikající při hydrataci některých látek [11]

Výchozí látka	Vznikající látka	Vyvozený přetlak (MPa)
CaSO_4	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	110
Na_2SO_4	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	25
Na_2CO_3	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	30

Přechod mezi jednotlivými formami je dán stabilitou hydratované formy soli, která závisí na klimatických podmínkách, teplotě a relativní vlhkosti prostředí. Nejvíce problémové jsou ty soli (např. síran sodný, uhličitan vápenatý nebo dusičnan vápenatý), u nichž dochází k přechodům mezi formami za běžných teplot okolního prostředí. [7]

3.4.2. Vliv solí na fyzikálně – mechanické vlastnosti

Z předchozích kapitol lze shrnout, že aktivní soli mají poměrně velký vliv na významné vlastnosti nejen cihelného zdiva. Mezi nejvíce ovlivňované vlastnosti patří únosnost, objemová hmotnost a mrazuvzdornost.

Hlavním faktorem ovlivňující obsah solí a nastartování degradačních procesů je vlhkost. Již samotná vlhkost působí na zmíněné vlastnosti velmi negativně, ale v kombinaci s agresivním prostředím dochází k nárůstu obsahu solí a následné degradaci. Dá se říct, že se jedná řetězovou reakci. Vlhkost spustí chemické procesy ve zdivu, během nichž dochází ke krystalizaci solí. Postupem času krystaly přesahují velikost pórů, dochází k narušení vnitřní struktury zdiva a následně i únosnosti konstrukce. V případě kombinace vlhkosti, solí a zmrazovacích cyklů dochází ke zvýšení objemu vody ve zdivu a únosnost zdiva klesá ještě významněji, a s tím i další statické parametry celé konstrukce. Většinou se jedná o dlouhodobý proces závislý na agresivitě okolního prostředí, teplotě a kombinaci všech zmíněných faktorů dohromady. Stupeň zasolení zdiva lze klasifikovat na základě normy ČSN P 73 0610 (Tab. č. 6). Stupeň zasolení zdiva může sloužit jako podklad k navržení patřičného opatření (kapitola 3.3.2), na základě kterého dojde k snížení obsahu solí ve zdivu.



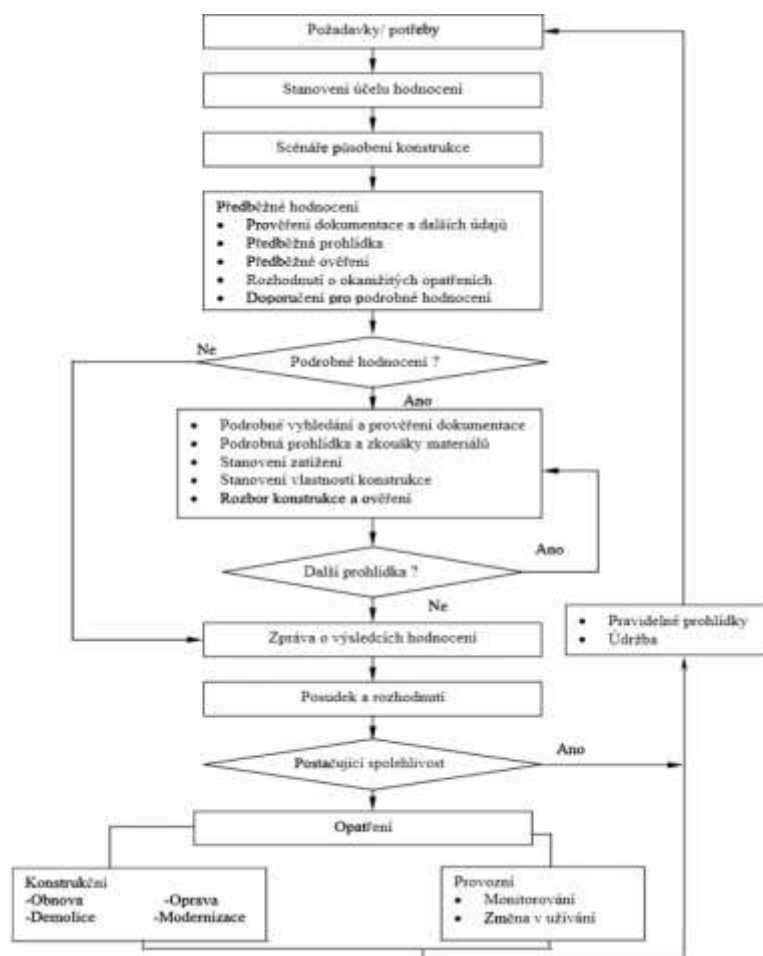
Obr. č. 20 Povrchové znehodnocení zdiva vlivem působení solí [7]

Tab. č. 6 Klasifikace stupně zasolení zdiva dle ČSN P 73 0610 [5]

Soli	Obsah solí v % hmotnosti		
Chloridy (Cl^-)	<0,2	0,2 do 0,5	> 0,5
Dusičnany (NO_3^-)	<0,1	0,1 do 0,3	> 0,3
Sírany (SO_4^-)	<0,5	0,5 do 1,5	>1,5
Hodnocení stupně zasolení zdiva	Nízký	Střední	Vysoký

4. Diagnostika cihelných objektů

Diagnostické metody pro zhodnocení stavu cihelných objektů se obvykle volí na základě předběžného stavebně technického průzkumu. Metody lze rozdělit na nedestruktivní - neporušují konstrukci, semi-destruktivní - lokální porušení prvku bez narušení statiky konstrukce, nebo destruktivní – destrukci zkoušeného prvku. U starších nebo historických objektů je nutné dbát na jejich historickou hodnotu. Kromě historické hodnoty může u starších neobydlených a neudržovaných objektů dojít ke snížení únosnosti a proto je při průzkumu a stanovení diagnostických metod nutné brát zřetel na bezpečnost. Pro hodnocení existujících stavebních konstrukcí slouží norma ČSN ISO 13822 [6]. Pro postup vyšetřování existující konstrukce slouží vývojový diagram (Obr. č. 21).



Obr. č. 21 Schematické znázornění postupu při hodnocení existující konstrukce [6]

4.1. Předběžný stavebně-technický průzkum

Cílem předběžného stavebně-technického průzkumu je získat co nejvíce podkladů a materiálů o stavebním objektu. Mezi podklady a materiály patří hlavně stavební projekt, stavební deník, historické dokumenty, záznamy o provedených dodatečných úpravách, účel zkoumaného objektu, materiálové řešení konstrukcí objektu apod. V průběhu předběžného průzkumu je velice vhodné konzultovat stav objektu s jeho vlastníkem nebo s osobami, které objekt užívali. Základem průzkumu je prohlídka objektu, zahrnující použití tzv. smyslových metod, které se zabývají [9]:

- kvalitou povrchů (drsnost, tvrdost, rozpad);
- odezvou konstrukcí na poklep;
- vizuálním zjištění poruch.

Účelem vizuálního zhodnocení je zjištění stavu konstrukcí. Předběžný průzkum je vhodné doplnit fotodokumentací stávajícího stavu (např. fotografie trhlin s měřítkem nebo vlhkostní mapy). Na základě stavebně předběžného hodnocení zjevných vad a poruch jsou stanovena pravděpodobná kritická místa konstrukce. U cihelných objektů lze vizuálně posoudit trhliny, vlhkostní mapy, místa degradovaná působením soli, či jinými degradačními faktory, rozpad konstrukce, nadměrná přetvoření konstrukce atd.

4.2. Podrobný stavebně-technický průzkum

Podrobný stavebně-technický průzkum se provádí v případě, kdy pro zjištění příčin vad a poruch objektu není dostatečný předběžný průzkum. Součástí podrobného průzkumu mohou být metody nedestruktivní (např. zjištění vlhkosti odporovým vlhkoměrem), semidestruktivní (např. aplikace Kučerovy vrtačky IN SITU) nebo destruktivní (zkoušení v laboratoři pevnosti v tlaku apod.), čímž se získávají kvantitativní data. Na vzorcích se stanovují zejména fyzikální a mechanické vlastnosti. Výsledné informace jsou poté podkladem pro stanovení sanačních opatření zkoumaných objektů.

4.2.1 Stanovení objemové hmotnosti

Stanovení objemové hmotnosti je jednou ze základních zkoušek stavebních materiálů, jelikož tato vlastnost je v přímém vztahu s dalšími fyzikálně – mechanickými charakteristikami (např. pevností, nasákavostí). Konstrukce může vlivem snížené objemové hmotnosti hůře přenášet účinky zatížení a časem může dojít až k její destrukci. Hlavními činiteli, které ovlivňují objemovou hmotnost, jsou vlhkost okolního prostředí a poróznost materiálu.

Objemová hmotnost udává hmotnost výrobku včetně dutin a pórů v něm obsažených, určuje se nejčastěji v suchém stavu dle normy ČSN 72 2603 [1]. Podstatou zkoušky je vysušení zkoušených vzorků v sušárně při 105 ± 5 °C do ustálené hmotnosti. Ze změřených rozměrů vzorků se stanoví objem a po zvážení se vypočte objemová hmotnost dle vztahu:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (1)$$

,kde:

mhmotnost suchého vzorku [kg],

V.....průměrný objem vzorku [m³].

Výsledkem zkoušky je aritmetický průměr zjištěných hodnot min. na 10 vzorcích vyjádřený v kg/m³ se zaokrouhlením na desítky.

4.2.2 Stanovení vlhkosti a nasákavosti

Stanovení vlhkosti

Vlhkost lze stanovit nedestruktivně pomocí vlhkoměrů, ale ty jsou určeny především pro jiné materiály, například dřevo. Vlhkost u keramických materiálů se stanovuje nejčastěji pomocí metody sušení (gravimetrické) na odebraných vzorcích. V této diplomové práci byla vlhkost stanovena také pro případ simulace vlhkosti v nevytápěných prostorech, což je pro zemědělské objekty charakteristické.

Vlhkost na odebraných vzorcích i u simulace vlhkosti v nevytápěných prostorách vychází z metody stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě dle ČSN EN ISO 12570. [3]

Vzorky jsou odebrány nejčastěji IN SITU ručně pomocí vysekávání kladívkem ze zdiva. Po odebrání jsou vzorky přemístěny do laboratoře, kde se umístí do větrané komory za zvýšené teploty 105 ± 5 °C s vlhkostí menší než 10%. Po dosažení konstantní hmotnosti (rozdíl mezi posledním měřením nesmí být menší než 0,1%) se provede výpočet vlhkosti dle vztahu:

$$W = \frac{m_1 - m_3}{m_3} * 100 \quad [\%] \quad (2)$$

,kde:

m_1 hmotnost zkušební vzorku před vysušením [kg],

m_3 hmotnost zkušební vzorku po vysušení [kg].

Výsledkem zkoušky je hodnota W, což je hmotnost vody ve zkušební navážce vyjádřena jako procento vysušené zkušební navážky. Výsledek se zaokrouhlí na 1 desetinné místo.

Stanovení nasákavosti

Nasákavost je schopnost keramického materiálu přijímat kapalinu. Stanovuje se v % jako poměr hmotnosti vody pohlcené vzorkem ke hmotnosti vysušeného vzorku. Zkouška se provádí dle normy ČSN 72 2603. [1]

Dle normy se zkušební vzorky vysuší v sušárně při 105 ± 5 °C do ustálené hmotnosti. Poté se vzorky zváží na digitálních vahách s přesností na 2 desetinná místa. Následně se jednotlivé vzorky umístí do nádoby tak, aby se vzájemně nedotýkaly. Nádobu se naplní vodou v takovém množství, aby vzorky byly ponořeny pod hladinou. Voda se uvede do varu, ve kterém se udržuje po 4 hodiny, přičemž je nutné vodu neustále doplňovat. Po ukončení varu se vzorky nechají vychladnout na okolní teplotu, povrchově se osuší a zváží.

Nasákavost se určí ze vztahu:

$$NV = \frac{m_n - m_s}{m_s} * 100 \quad [\%] \quad (3)$$

,kde:

m_s hmotnost suchého vzorku [kg],

m_n hmotnost nasáknutého vzorku váženého na vzduchu [kg].

Výsledkem zkoušky je aritmetický průměr zjištěných hodnot min. na 10 vzorcích vyjádřený v % se zaokrouhlením na 3 desetinná místa.

Vlhkost i nasákavost se stanovují, jelikož významně ovlivňují pevnostní charakteristiky zdiva. Nasákavost je ovlivněna velikostí póru v cihelném zdivu. Pokud jsou póry na povrchu zdiva otevřené, dochází k postupnému nasáknutí zdiva vodou a tím zvýšení vlhkosti v konstrukci. Zvýšená vlhkost může pevnost snížit, čímž významně ovlivní i únosnost zdiva. Zvýšená vlhkost má také za následek vyšší obsah solí ve zdivu, které vedou k jeho degradaci.

4.2.3 Stanovení obsahu solí

Obsah vodorozpuštěných solí, jako jsou sírany, chloridy nebo dusičnany, ovlivňuje strukturu cihelného zdiva. Soli krystalizují nebo hydratují pod povrchem cihel, což má za následek vznik vnitřního pnutí a popraskání zdiva. Následky působení solí mohou být velmi vážné a v případech, kdy se konstrukce neudrží, může dojít k jejich postupné destrukci.

Stanovení obsahu solí se dá provést několika metodami:

- stanovení obsahů chloridů a síranů pomocí titrace (ČSN EN 196-2);
- přístrojová metoda atomové absorpční spektrometrie (AAS) a plamenové fotometrie nebo spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP) (ČSN EN 775-2);
- EDTA metoda (ČSN EN 775-2).

Předmětem této diplomové práce není přesné stanovení množství jednotlivých solí nebo chemického složení solí. Proto se postup ke stanovení orientačního množství solí odvíjel

z normy prEN 771-1, podle které probíhala příprava a odběr vzorků (viz kapitola 5.6.). Následné vyhodnocení obsahu solí probíhalo pomocí indikačních papírků (Obr. č. 22).



Obr. č. 22 Indikační papírky pro stanovení obsahu síranů, dusičnanů a chloridů

4.2.4 Semidestruktivní - tvrdoměrné metody

Tyto metody se používají v případech, kdy není možné z konstrukce odebrat vzorek, který by se diagnostikoval v laboratoři. Nejčastěji jsou semidestruktivní metody (většinou IN SITU) prováděny v případě, kdy není možné provést jádrový vývrt nebo by byla ohrožena stabilita a případně i únosnost konstrukce. S výhodou se také využívá toho, že v rámci diagnostiky je možné tímto způsobem získat větší počet výsledků.

Semidestruktivní - tvrdoměrné metody mohou být například:

- Aplikace Kučerovy vrtačky – jedná se o upravenou elektrickou vrtačku PZZ 01. Metoda je založena na vztahu pevnosti a odporu cihly proti vnikání vrtáku. Výsledkem je pevnost v tlaku stanovená na základě kalibračních vztahů.
- Schmidt PM – jedná se o kyvadlový indenter, který pracuje s konstantní energií úderu. Úderník s razníkem o průměru 8 mm opisuje půlkruhovou dráhu a dopadá na povrch cihelného zdiva a následně se odrazí. Z hodnoty odrazu lze odvodit pevnost cihelného prvku v tlaku.

4.2.5 Stanovení pevnosti v tlaku

Zkouška pevnosti v tlaku je jednou ze základních destruktivních diagnostických metod, která slouží k posouzení únosnosti zdiva. Zkouška se provádí dle normy ČSN EN 772-1 [4]. Zkouší se buď celý výrobek, anebo 2 zlomky po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu. Zkoušené vzorky cihel, připravené podle potřeby, se uloží dostředně na tlačnou desku zkušebního lisu. Rovnoměrně rozdělené zatížení, které působí na celou plochu vzorku, se zvyšuje plynule až do jeho porušení.

Pevnost v tlaku vypočítáme podle vzorce:

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ [MPa]} \quad (4)$$

,kde:

F..... nejvyšší zatížení při porušení celého vzorku [kN],

A..... tlačná plocha vypočtená ze změřených rozměrů původního vzorku v [mm²].

Pevnost v tlaku σ se zaokrouhluje na nejbližší 1 desetinné místo. Výsledek se porovná s průměrnou hodnotou pevnosti v tlaku uvedenou v normě ČSN EN 771-1 ed.2. [2].

5. Zkoušení pálených cihel zemědělského objektu v Malenovicích

Pro zkoušení a posuzování pálených cihel byla vybrána bývalá zemědělská usedlost v Malenovicích v okrese Frýdek-Místek. Objekt disponoval několika zemědělskými stavbami včetně několika staveb pro bydlení.

Vzorky pálených cihel, které byly podrobeny zkouškám v této diplomové práci, pocházely ze stavby, která sloužila k ustájení skotu a lze tedy předpokládat zatížení materiálu dusičnany. Stavba sloužila svému účelu mnoho let a po rozhodnutí majitelů snížit počet kusů skotu byla stavba v roce 2011 odstraněna. Cihly byly uskladněny ve vnějším prostředí na dřevěných paletách a byly zakryty plachtou. Záměrem majitelů bylo cihly použít pro případnou novou stavbu.

Vzorky cihel v celkovém počtu 18ks byly odebrány, umístěny do nepropustných obalů a uskladněny na suchém místě do doby zkoumání v laboratoři. Poté byly cihly převezeny do laboratoře k prvotnímu zhodnocení a zjištění základních hodnot (Tab. č. 7) v červnu 2015. Nejdříve došlo k označení cihel V1-V18 (Obr. č. 23), poté se cihly změřily, zvážily, proběhlo vizuální zhodnocení (Tab. č. 8) a zapsání zjištěných parametrů do tabulky.



Obr. č. 23 Označené vzorky cihel Malenovice

Tab. č. 7 Základní hodnoty cihel Malenovice

Označení	Hmotnost [kg]	Průměrná délka [mm]	Průměrná šířka [mm]	Průměrná výška [mm]	Objem V [m ³]	Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]
V1	4,668	289,75	138,54	63,82	0,0025619	1820
V2	4,830	295,08	139,32	66,76	0,0027445	1760
V3	4,593	281,78	139,90	68,55	0,0027021	1700
V4	4,693	280,10	138,35	64,53	0,0025005	1880
V5	4,876	288,75	139,10	66,25	0,0026609	1830
V6	4,756	289,30	141,08	68,55	0,0027976	1700
V7	4,935	289,75	138,93	67,32	0,0027100	1820
V8	4,985	290,00	138,04	66,92	0,0026787	1860
V9	4,735	290,03	138,58	64,36	0,0025866	1830
V10	4,710	288,50	139,23	65,00	0,0026106	1800
V11	4,759	287,00	141,98	64,14	0,0026135	1820
V12	4,184	286,50	138,57	65,82	0,0026130	1600
V13	4,492	291,00	136,10	66,34	0,0026273	1710
V14	5,044	290,50	139,98	65,02	0,0026438	1910
V15	4,621	292,50	143,34	62,49	0,0026197	1760
V16	4,997	291,00	145,93	61,26	0,0026012	1920
V17	5,013	290,00	138,81	65,61	0,0026409	1900
V18	4,748	290,00	138,92	68,68	0,0027668	1720

Tab. č. 8 Vizuální zhodnocení cihel Malenovice

Vzorek	Stav	Tvar	Rovnost hran	Struktura	Trhliny	Vzduchové dutiny	Barva	Textura
V1	místy narušený	relativně pravidelný	relativně pravidelné	převážně jemnozrná	povrchové trhliny	v menší míře	světle červená (stejněměrná)	hnětení
V2	místy narušený	relativně pravidelný	relativně pravidelné	jemnozrná s obsahem větších zrn	povrchové trhliny	v menší míře	světle červená (stejněměrná)	hnětení
V3	místy narušený	pravidelný	pravidelné	převážně jemnozrná	povrchové trhliny	v menší míře	světle červená (stejněměrná)	hnětení
V4	nenarušený	pravidelný	pravidelné	převážně jemnozrná	povrchové trhliny	v menší míře	světle červená (nestějněměrná-místy tmavší)	hnětení
V5	místy narušený	relativně pravidelný	relativně pravidelné	převážně jemnozrná	povrchové trhliny cca 5mm hluboké	ve velkém množství	světle červená (nestějněměrná-místy tmavší)	hnětení
V6	místy narušený	pravidelný	relativně pravidelné	převážně jemnozrná	povrchové trhliny	v menší míře	světle červená (nestějněměrná-místy tmavší)	hnětení
V7	narušený	pravidelný	relativně pravidelné	převážně jemnozrná	povrchové trhliny	ve velkém množství	světle červená (nestějněměrná-místy tmavší)	hnětení
V8	narušený (odlomený roh)	relativně pravidelný	nepravidelné	jemnozrná s obsahem větších zrn	povrchové trhliny cca 5mm hluboké	ve velkém množství	červená (nestějněměrná-místy tmavší)	hnětení
V9	místy narušený	pravidelný	relativně pravidelné	jemnozrná s obsahem větších zrn	povrchové trhliny cca 5mm hluboké	ve velkém množství	červená (nestějněměrná-místy tmavší)	hnětení
V10	narušený	relativně pravidelný	nepravidelné	jemnozrná s obsahem větších zrn	povrchové trhliny	ve velkém množství	červená (nestějněměrná-místy tmavší)	hnětení
V11	místy narušený	pravidelný	pravidelné	převážně jemnozrná	ne	ne	Tmavě šedá (nestějněměrná-místy červená)	hnětení
V12	narušený	relativně pravidelný	relativně pravidelné	převážně jemnozrná	povrchové trhliny cca 10mm hluboké	ve velkém množství	světle červená (nestějněměrná-místy šedá)	hnětení
V13	značně narušený	nepravidelný	značně nerovné	převážně jemnozrná	hluboké trhliny	ve velkém množství	červená (nestějněměrná-místy černá)	hnětení
V14	narušený	pravidelný	relativně pravidelné	převážně jemnozrná	povrchové trhliny cca 5mm hluboké	ve velkém množství	červená (nestějněměrná-místy tmavší)	hnětení
V15	místy narušený	pravidelný	relativně pravidelné	převážně jemnozrná	povrchové trhliny	v menší míře	červená (nestějněměrná-místy tmavší)	hnětení
V16	narušený (odlomený roh)	relativně pravidelný	rovné kromě odlomeného rohu	převážně jemnozrná	povrchové trhliny	v menší míře	červená (nestějněměrná-místy tmavší)	hnětení
V17	místy narušený	relativně pravidelný	relativně pravidelné	jemnozrná s obsahem větších zrn	povrchové trhliny cca 3mm hluboké	ve velkém množství	červená (nestějněměrná-místy tmavší)	hnětení
V18	místy narušený	relativně pravidelný	nepravidelné	převážně jemnozrná	povrchové trhliny	ve velkém množství	světle červená (nestějněměrná-místy šedá)	hnětení

Před provedením zkoušek objemové hmotnosti, nasákavosti a vlhkosti sušením při zvýšené teplotě bylo z důvodů omezeného počtu vzorků rozhodnuto o nařezání cihel na krychle. Tyto krychle byly poté použity pro jednotlivé zkoušky. Vzorky cihel V1-V18 byly nařezány pilou suchým způsobem. Suchý způsob byl zvolen s ohledem na účel diplomové práce, tedy stanovení obsahu aktivních solí. Pokud by došlo k nařezání cihel mokřím způsobem, obsažené soli by byly vyplaveny a vzorky pro následné zkoušky znehodnoceny.

Z celkového počtu 18ks cihel vzniklo 180ks krychlí (10ks z 1 mateřské cihly) s přibližnou základnou 50x50mm a výškou rovnou výšce cihly. Následně byly tyto vzorky přiřazeny k jednotlivým zkušebním postupům:

- 3 krychle pro stanovení nasákavosti a následně pevnosti v tlaku;
- 3 krychle pro stanovení objemové hmotnosti a následně pevnosti v tlaku;
- 3 krychle pro stanovení vlhkosti v definovaném prostředí a následně pevnosti v tlaku;
- 1 krychle a odřezy pro stanovení obsahu aktivních solí.

5.1. Stanovení objemové hmotnosti v suchém stavu

Zkouška objemové hmotnosti probíhala dle normy ČSN 72 2603. Před provedením zkoušky bylo potřeba jednotlivé vzorky cihel vysušit v sušárně s teplotou sušení 105°C. Celkem bylo vysušeno do ustálené hmotnosti 54 krychlí, které byly poté zváženy na digitálních vahách s přesností na 0,0001 kg (hmotnost m). Po zvážení cihel proběhlo přeměření rozměrů (délka, šířka, výška) posuvným měřítkem s přesností na 0,01 mm a proběhlo vypočtení objemu a následně stanovení průměrné objemové hmotnosti vzorků se zaokrouhlením na 10kg/m³. Výpočet objemové hmotnosti probíhá dle vztahu:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (1)$$

,kde:

mhmotnost suchého vzorku [kg],

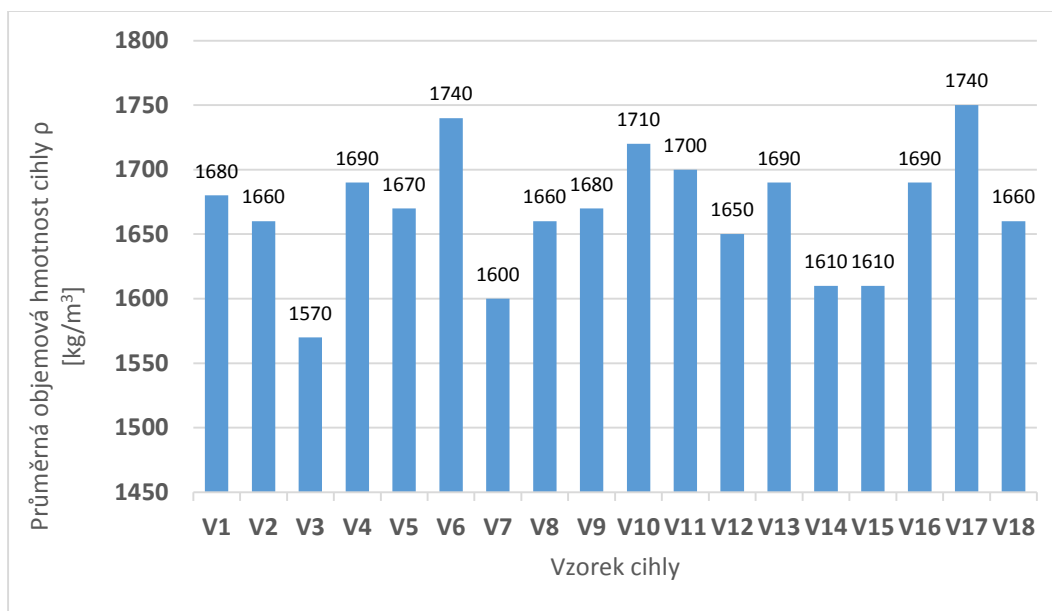
V.....průměrný objem vzorku [m³].

Tab. č. 9A Výsledné hodnoty objemové hmotnosti vysušených cihelných krychlí (vzorky V1-V9)

Vzorek	Hmotnost vysušeného vzorku [kg]	Rozměr vzorku			Objem V [m³]	Objemová hmotnost ρ [kg/m³]	Průměrná objemová hmotnost ρ [kg/m³]
		Délka L [mm]	Šířka B [mm]	Výška H [mm]			
V1D	0,2180	50,42	50,45	50,5	0,0001285	1700	1680
V1E	0,2076	49,48	50,58	50,4	0,0001260	1650	
V1F	0,2090	49,96	50,63	49,1	0,0001242	1680	
V2D	0,2174	51,07	51,22	50,6	0,0001322	1640	1660
V2E	0,2188	50,85	51,1	50,5	0,0001312	1670	
V2F	0,2156	49,77	51,54	50,7	0,0001300	1660	
V3D	0,2006	50,60	49,53	49,5	0,0001241	1620	1570
V3E	0,2050	51,17	50,95	50,4	0,0001315	1560	
V3F	0,2074	51,55	51,51	50,8	0,0001350	1540	
V4D	0,2256	50,93	51,45	51,3	0,0001344	1680	1690
V4E	0,2258	52,08	50,1	50,9	0,0001329	1700	
V4F	0,2378	51,85	51,75	52	0,0001395	1700	
V5D	0,2402	52,63	52,36	53,4	0,0001472	1630	1670
V5E	0,2414	52,71	51,52	52,7	0,0001432	1690	
V5F	0,2400	51,24	52,72	52,9	0,0001428	1680	
V6D	0,2558	53,21	53,25	53,2	0,0001508	1670	1740
V6E	0,2688	52,85	53,12	53	0,0001488	1810	
V6F	0,2608	53,59	53,02	53,6	0,0001522	1710	
V7D	0,2420	53,85	53,62	54,2	0,0001565	1550	1600
V7E	0,2336	52,20	52,22	53,5	0,0001457	1600	
V7F	0,2384	51,64	52,12	53,8	0,0001448	1650	
V8D	0,2574	55,57	52,6	52,3	0,0001530	1680	1660
V8E	0,2466	53,24	51,69	51,9	0,0001429	1730	
V8F	0,2260	51,93	52,18	53	0,0001437	1570	
V9D	0,2450	51,85	52,69	52,4	0,0001432	1710	1680
V9E	0,2362	51,35	52,21	52,2	0,0001400	1690	
V9F	0,2442	51,87	54,27	53,3	0,0001500	1630	

Tab. č. 9B Výsledné hodnoty objemové hmotnosti vysušených cihelných krychlí (vzorky V10-V18)

Vzorek	Hmotnost vysušeného vzorku [kg]	Rozměr vzorku			Objem V [m³]	Objemová hmotnost ρ [kg/m³]	Průměrná objemová hmotnost ρ [kg/m³]
		Délka L [mm]	Šířka B [mm]	Výška H [mm]			
V10D	0,2594	54,13	53,75	53,9	0,0001569	1650	1710
V10E	0,2618	52,40	53,94	52,7	0,0001490	1760	
V10F	0,2604	52,12	54,67	52,7	0,0001502	1730	
V11D	0,2794	53,66	56,49	54,3	0,0001647	1700	1700
V11E	0,2688	53,36	54,55	52,3	0,0001521	1770	
V11F	0,2558	52,75	53,92	54,6	0,0001553	1650	
V12D	0,2124	50,00	50,92	50	0,0001274	1670	1650
V12E	0,2066	49,65	50,2	49,8	0,0001240	1670	
V12F	0,2100	50,29	50,64	50,7	0,0001291	1630	
V13D	0,2214	51,76	49,96	51,1	0,0001321	1680	1690
V13E	0,2300	51,79	52	51,7	0,0001393	1650	
V13F	0,2272	50,07	51,9	50,2	0,0001305	1740	
V14D	0,2214	52,32	50,91	50,9	0,0001357	1630	1610
V14E	0,2300	52,03	52,72	52,4	0,0001438	1600	
V14F	0,2316	52,63	51,92	52,8	0,0001444	1600	
V15D	0,2256	52,44	52,21	52,4	0,0001434	1570	1610
V15E	0,2224	51,35	51,25	51,7	0,0001360	1640	
V15F	0,2410	53,86	52,44	52,8	0,0001492	1610	
V16D	0,2320	51,28	51,45	51,9	0,0001370	1690	1690
V16E	0,2182	50,68	50,86	50,6	0,0001305	1670	
V16F	0,2198	50,31	50,68	50,7	0,0001293	1700	
V17D	0,2058	49,40	48,27	49,8	0,0001187	1730	1740
V17E	0,2038	49,70	48,48	48,5	0,0001168	1740	
V17F	0,2040	48,58	48,79	49	0,0001162	1760	
V18D	0,2184	50,88	50,5	50,4	0,0001294	1690	1660
V18E	0,2152	51,13	50,83	51,7	0,0001345	1600	
V18F	0,2256	50,24	51,65	51,2	0,0001330	1700	



Graf č. 1 Porovnání výsledných hodnot z hlediska objemové hmotnosti

Výsledné hodnoty objemové hmotnosti (Tab. č. 9A a 9B) se pohybují přibližně v rozmezí od 1570 kg/m^3 do 1740 kg/m^3 , což znázorňuje graf. č. 1. Dle normy ČSN EN 771-1 ed.2 [2] patří všechny vzorky do skupiny pálených zdících prvků HD, tj. pálených zdících prvků s vysokou objemovou hmotností (nad 1000 kg/m^3), které jsou určeny pro použití v chráněném (omítnutém) nebo nechráněném zdivu. Jednotlivé cihly lze zařadit i dle národní přílohy NA k ČSN EN 771-1 ed.2 [2] (Tab č. 10), kde vzorky V3 a V7 spadají do třídy objemové hmotnosti 1600 a ostatní vzorky do třídy 1800.

Tab. č. 10 Třídy objemové hmotnosti výrobků podle národní přílohy NA k EN 771-1

Třída objemové hmotnosti	Průměrná hodnota objemové hmotnosti ¹⁾ kg m ⁻³
550	501 – 550
600	551 – 600
650	601 – 650
700	651 – 700
750	701 – 750
800	751 – 800
900	801 – 900
1000	901 – 1000
1200	1001 – 1200
1400	1201 – 1400
1600	1401 – 1600
1800	1601 – 1800

5.2. Simulace umístění v nevytápěných prostorách

Bývalý zemědělský objekt, který byl určený k ustájení skotu, nebyl vytápěn, jelikož byl neustále větrán. Z toho důvodu byla u odebraných vzorků zkouška provedena jako simulace umístění v nevytápěných prostorách. Hlavním záměrem zkoušky je určit vlhkost v jednotlivých vzorcích a poté posoudit závislost mezi vlhkostí a pevností v tlaku (viz kapitola 5.4.) Zkouška probíhala dle normy ČSN EN ISO 12570. [3]

Vzorky cihelných krychlí (celkem 54) byly zváženy s přesností na 0,0001 kg (hmotnost m_1) a následně umístěny do klimatické komory s teplotou 20°C a vlhkostí vzduchu 70%. Vzorky se poté klimatizovaly do ustálené hmotnosti, kdy rozdíl mezi jednotlivými váženími nepřesáhl 0,1%. Vzorky se zvážily na digitálních vahách s přesností na 0,0001 kg (hmotnost m_3) a byl proveden výpočet vlhkosti. Průměrná vlhkost se stanovila se zaokrouhlením na 0,1%.

Výpočet vlhkosti:

$$W = \frac{m_1 - m_3}{m_3} * 100 \quad [\%] \quad (2)$$

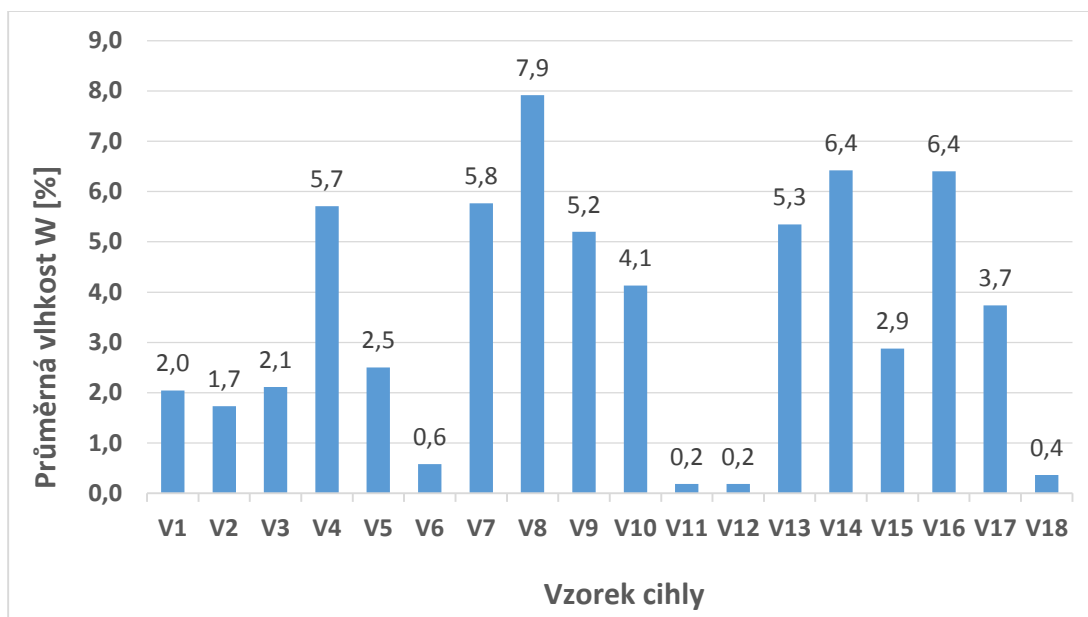
,kde:

m_1 hmotnost zkušební vzorku před vysušením [kg],

m_3 hmotnost zkušební vzorku po vysušení [kg].

Tab. č. 11 Výsledné hodnoty stanovení vlhkosti cihelných krychlí

Vzorek	Hmotnost [kg]		Vlhkost W [%]	Průměrná vlhkost W [%]	Vzorek	Hmotnost [kg]		Vlhkost W [%]	Průměrná vlhkost W [%]
	Před vysušením m ₁	Po vysušení m ₃				Před vysušením m ₁	Po vysušení m ₃		
V1G	0,2180	0,2128	2,4	2,0	V10G	0,2556	0,2458	4,0	4,1
V1H	0,2198	0,2150	2,2		V10H	0,2710	0,2598	4,3	
V1I	0,2238	0,2206	1,5		V10I	0,2700	0,2594	4,1	
V2G	0,2186	0,2152	1,6	1,7	V11G	0,2620	0,2618	0,1	0,2
V2H	0,2310	0,2266	1,9		V11H	0,2892	0,2890	0,1	
V2I	0,2296	0,2258	1,7		V11I	0,2194	0,2185	0,4	
V3G	0,2032	0,2002	1,5	2,1	V12G	0,2166	0,2163	0,1	0,2
V3H	0,2074	0,2034	2,0		V12H	0,2076	0,2069	0,3	
V3I	0,2142	0,2082	2,9		V12I	0,2160	0,2158	0,1	
V4G	0,2424	0,2318	4,6	5,7	V13G	0,2364	0,2238	5,6	5,3
V4H	0,2424	0,2308	5,0		V13H	0,2400	0,2300	4,3	
V4I	0,2458	0,2286	7,5		V13I	0,2450	0,2310	6,1	
V5G	0,2512	0,2440	3,0	2,5	V14G	0,2590	0,2422	6,9	6,4
V5H	0,2558	0,2498	2,4		V14H	0,2488	0,2346	6,1	
V5I	0,2472	0,2420	2,1		V14I	0,2542	0,2392	6,3	
V6G	0,2680	0,2656	0,9	0,6	V15G	0,2532	0,2348	7,8	2,9
V6H	0,2526	0,2516	0,4		V15H	0,2280	0,2278	0,1	
V6I	0,2690	0,2678	0,4		V15I	0,2272	0,2256	0,7	
V7G	0,2526	0,2394	5,5	5,8	V16G	0,2412	0,2268	6,3	6,4
V7H	0,2528	0,2368	6,8		V16H	0,2400	0,2258	6,3	
V7I	0,2384	0,2270	5,0		V16I	0,2534	0,2378	6,6	
V8G	0,2618	0,2422	8,1	7,9	V17G	0,2176	0,2080	4,6	3,7
V8H	0,2700	0,2518	7,2		V17H	0,2100	0,2030	3,4	
V8I	0,2598	0,2396	8,4		V17I	0,2094	0,2030	3,2	
V9G	0,2618	0,2500	4,7	5,2	V18G	0,2154	0,2146	0,4	0,4
V9H	0,2502	0,2366	5,7		V18H	0,2248	0,2238	0,4	
V9I	0,2622	0,2494	5,1		V18I	0,2188	0,2182	0,3	



Graf č. 2 Porovnání výsledných hodnot z hlediska simulace umístění v nevytápěných prostorách

Výsledné hodnoty vlhkosti vzorků cihel V1-V18 (Tab. č. 11) se pohybují od 0,2 % do 7,9%, což je znázorněno v grafu č. 2. Rozdílné výsledné hodnoty mohlo ovlivnit způsob a místo uložení cihel po demolici stavby. Cihly byly uloženy na dřevěné paletě, kde cihly umístěné na kraji palety byly vystaveny vnějším vlivům ve větší míře než cihly umístěné ve středu palety. Rozdílné hodnoty (Graf. č. 2) tedy pravděpodobně způsobily degradační procesy jako působení mrazu nebo solí. Vlivem působení degradačních procesů docházelo ke zvyšování porózy, což mělo za následek vyšší vlhkost některých vzorků.

5.3. Stanovení nasákavosti

Zkouška nasákavosti probíhala dle normy ČSN 72 2603 [1].

Před provedením zkoušky bylo potřeba jednotlivé vzorky cihel vysušit v sušárně (Obr. č. 24) pro $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Celkem bylo vysušeno do ustálené hmotnosti 54 vzorků, které byly poté zváženy na digitálních vahách s přesností na 0,0001 kg (hmotnost m_s). Následně se vzorky připravily k vaření, kde se vzorky vzájemně nesměly dotýkat a jejich horní hrana byla umístěna několik cm pod vodní hladinou. Vaření probíhalo na dvou vařičích, kde nejdříve docházelo k postupnému zahřívání a bodu varu bylo dosaženo po 55 minutách. Poté se cihly udržovaly ve varu další 4 hodiny (Obr. č. 25), přičemž během této doby docházelo k doplňování vody. Voda byla doplňována tak, aby horní hrana zůstala pod vodní hladinou. Po ukončení varu byly cihly odstaveny z vařiče a ve vodě zůstaly ponořeny následujících 72 hodin. Po vytažení a povrchovém osušení nasáknutých cihel, došlo k vážení na vzduchu (m_n) pomocí digitálních vah s přesností na 0,0001 kg.



Obr. č. 24 Umístění vzorků do sušárny



Obr. č. 25 Průběh vaření cihel při zkoušce nasákavosti

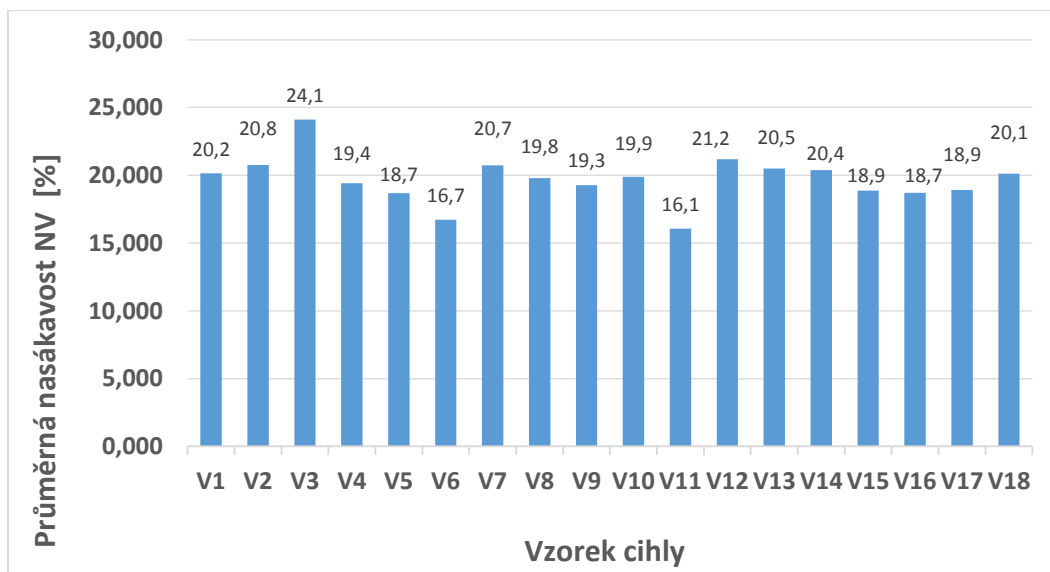
Výpočet nasákavosti:

$$NV = \frac{m_n - m_s}{m_s} * 100 \quad [\%] \quad (3)$$

,kde:

m_s hmotnost suchého vzorku [kg],

m_n hmotnost nasáknutého vzorku váženého na vzduchu [kg].



Graf č. 3 Porovnání výsledných hodnot z hlediska nasákavosti

Tab. č. 12 Výsledné hodnoty nasákavosti cihelných kostek

Vzorek	Hmotnost [kg]		Nasákavost NV [%]	Prům. nasákavost NV [%]	Vzorek	Hmotnost [kg]		Nasákavost NV [%]	Prům. nasákavost NV [%]
	Vysušený vzorek m_s	Nasáklý vzorek m_n				Vysušený vzorek m_s	Nasáklý vzorek m_n		
V1A	0,2130	0,2568	20,6	20,2	V10A	0,2605	0,3102	19,1	19,9
V1B	0,2180	0,2612	19,8		V10B	0,2545	0,3102	21,9	
V1C	0,2200	0,2642	20,1		V10C	0,2585	0,3068	18,7	
V2A	0,2220	0,2684	20,9	20,8	V11A	0,2905	0,3360	15,7	16,1
V2B	0,2135	0,2582	20,9		V11B	0,2850	0,3156	10,7	
V2C	0,2325	0,2800	20,4		V11C	0,2725	0,3318	21,8	
V3A	0,1990	0,2476	24,4	24,1	V12A	0,2160	0,2634	21,9	21,2
V3B	0,2065	0,2566	24,3		V12B	0,2140	0,2594	21,2	
V3C	0,2120	0,2622	23,7		V12C	0,2105	0,2534	20,4	
V4A	0,2245	0,2688	19,7	19,4	V13A	0,2015	0,2436	20,9	20,5
V4B	0,2385	0,2846	19,3		V13B	0,2275	0,2740	20,4	
V4C	0,2365	0,2818	19,2		V13C	0,2200	0,2644	20,2	
V5A	0,2390	0,2818	17,9	18,7	V14A	0,2195	0,2654	20,9	20,4
V5B	0,2395	0,2848	18,9		V14B	0,2345	0,2814	20,0	
V5C	0,2380	0,2838	19,2		V14C	0,2325	0,2796	20,3	
V6A	0,2590	0,3016	16,4	16,7	V15A	0,2260	0,2684	18,8	18,9
V6B	0,2650	0,3098	16,9		V15B	0,2295	0,2740	19,4	
V6C	0,2535	0,2962	16,8		V15C	0,2265	0,2684	18,5	
V7A	0,2380	0,2884	21,2	20,7	V16A	0,2205	0,2616	18,6	18,7
V7B	0,2380	0,2864	20,3		V16B	0,2335	0,2766	18,5	
V7C	0,2340	0,2824	20,7		V16C	0,2270	0,2702	19,0	
V8A	0,2310	0,2770	19,9	19,8	V17A	0,2065	0,2460	19,1	18,9
V8B	0,2395	0,2868	19,7		V17B	0,2035	0,2410	18,4	
V8C	0,2360	0,2826	19,7		V17C	0,2065	0,2462	19,2	
V9A	0,2470	0,2958	19,8	19,3	V18A	0,2200	0,2648	20,4	20,1
V9B	0,2435	0,2904	19,3		V18B	0,2235	0,2660	19,0	
V9C	0,2405	0,2858	18,8		V18C	0,2165	0,2620	21,0	

Výsledné hodnoty nasákavosti vzorků cihel V1-V18 (Tab. č. 12) se pohybují v přibližném rozmezí od 16 % do 24 %, což znázorňuje graf č. 3. Oproti dnešním typům cihelného zdiva (např. Porotherm), kde nasákavost je přibližně 15%, se výsledky liší, což může být způsobeno vyšší pórovitostí a také různými formami degradace materiálu.

5.4. Stanovení pevnosti v tlaku

Jedná se o základní zkoušku parametru spadajícího mezi fyzikálně-mechanické vlastnosti. Zkouška navazuje na zkoušky stanovení objemové hmotnosti, simulace umístění v nevytápěných prostorech a stanovení nasákavosti.

Stanovení pevnosti v tlaku probíhalo dle normy ČSN EN 772-1 [4], kde podstatou zkoušky je otestování odolnosti proti tlakovému zatížení vzorků v hydraulickém lisu (Obr. č. 26, 27, 28, 29, 30, 31).

Vzorky byly změřeny pomocí digitálního měřidla s přesností na 0,01 mm. Rozměry vzorků byly 50x50mm a výška se rovnala výšce cihly. Vstupní data byla zadána do softwaru přístroje a nastavila se rychlost zatěžování na 0,05 N/mm²/s. Poté se jednotlivé vzorky umístily do středu zkušebního prostoru lisu a provedlo se jejich zatěžování s odečtem maximální síly při porušení s přesností na 0,01 kN.

Výpočet pevnosti v tlaku byl proveden s přesností na 0,1 MPa:

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ [MPa]} \quad (4)$$

,kde:

F..... nejvyšší zatížení při porušení celého vzorku [N],

A..... tlačná plocha vypočtená ze změřených rozměrů původního vzorku v [mm²].

Výsledky vzorků, kde byla provedena zkouška objemové hmotnosti ve vysušeném stavu.

Výsledné hodnoty vysušených vzorků cihel V1-V18 (Tab. č. 13) se pohybují v rozmezí od 7 MPa do 31,7 Mpa. což znázorňuje graf č. 4. Průměrná pevnost v tlaku 1 mateřské cihly byla vypočtena z aritmetického průměru pevnosti v tlaku 3 cihelných krychlí dané mateřské cihly. Z grafu č. 5 je vidět, že s rostoucí objemovou hmotností roste i pevnost v tlaku. Objemová hmotnost má velký vliv na pevnost pálených cihelných prvků a koeficient determinance by měl nabývat poměrně vysokých hodnot. Nicméně je nutné si uvědomit, že výsledek zkreslují některé hodnoty pevnosti cihel (např. V 11, V17 a další), což je patrné i na poměrně nízkém koeficientu

determinance $R^2=0,1024$. Výsledné hodnoty se vzájemně velmi liší, což je způsobeno rozdílnou objemovou hmotností, ale pravděpodobně také nehomogenitou jednotlivých cihel.

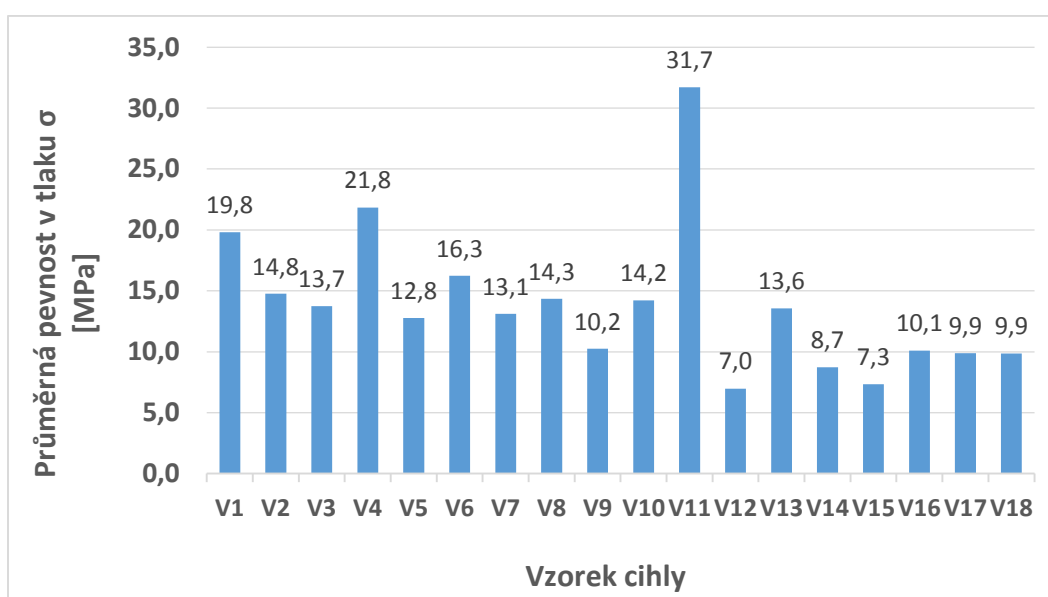
Tab. č. 13 Výsledné hodnoty pevnosti v tlaku ve vysušeném stavu

Vzorek	Rozměr vzorku		Tlačná plocha hlavy A [mm ²]	Nejvyšší zatížení při porušení F [kN]	Pevnost v tlaku σ [MPa]	Průměrná pevnost v tlaku σ [MPa]
	Délka L [mm]	Šířka B [mm]				
V1D	50,42	50,45	2543,69	58,79	23,1	19,8
V1E	49,48	50,58	2502,70	49,33	19,7	
V1F	49,96	50,63	2529,47	42,03	16,6	
V2D	51,07	51,22	2615,81	33,12	12,6	14,8
V2E	50,85	51,1	2598,44	38,68	14,8	
V2F	49,77	51,54	2565,15	42,96	16,7	
V3D	50,60	49,53	2506,22	37,41	14,9	13,7
V3E	51,17	50,95	2607,11	34,14	13,0	
V3F	51,55	51,51	2655,34	35,00	13,1	
V4D	50,93	51,45	2620,35	68,27	26,0	21,8
V4E	52,08	50,1	2609,21	45,50	17,4	
V4F	51,85	51,75	2683,24	59,16	22,0	
V5D	52,63	52,36	2755,71	34,66	12,5	12,8
V5E	52,71	51,52	2715,62	34,99	12,8	
V5F	51,24	52,72	2701,37	34,80	12,8	
V6D	53,21	53,25	2833,43	44,29	15,6	16,3
V6E	52,85	53,12	2807,39	47,05	16,7	
V6F	53,59	53,02	2841,34	46,49	16,3	
V7D	53,85	53,62	2887,44	42,82	14,8	13,1
V7E	52,20	52,22	2725,88	34,44	12,6	
V7F	51,64	52,12	2691,48	31,89	11,8	
V8D	55,57	52,6	2922,98	56,49	19,3	14,3
V8E	53,24	51,69	2751,98	36,06	13,1	
V8F	51,93	52,18	2709,71	28,67	10,5	
V9D	51,85	52,69	2731,98	26,69	9,7	10,2
V9E	51,35	52,21	2680,98	27,20	10,1	
V9F	51,87	54,27	2814,98	30,42	10,8	

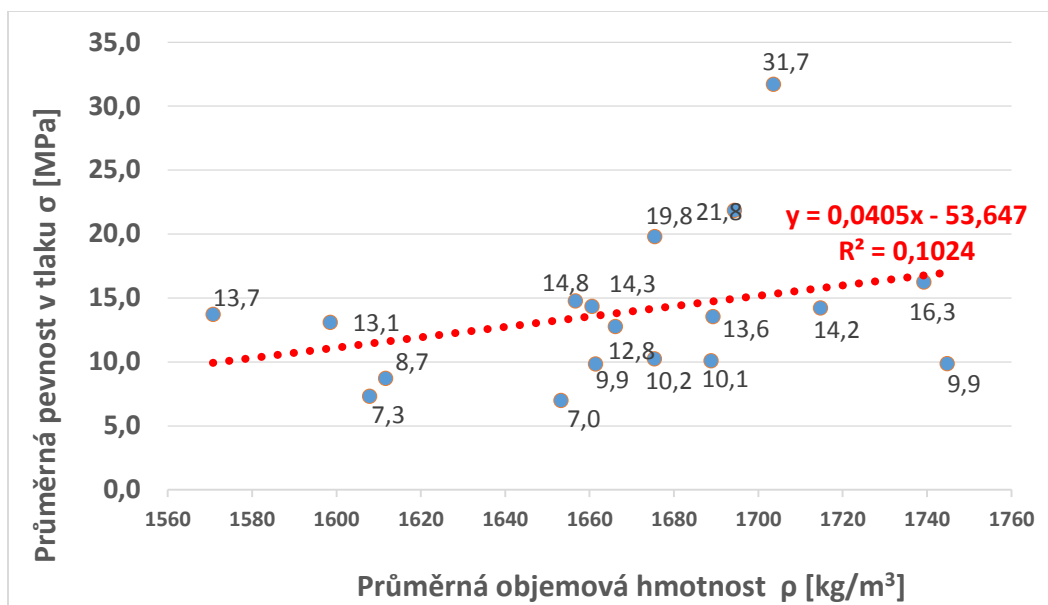
Vzorek	Rozměr vzorku		Tlačná plocha hlavy A [mm ²]	Nejvyšší zatížení při porušení F [kN]	Pevnost v tlaku σ [MPa]	Průměrná pevnost v tlaku σ [MPa]
	Délka L [mm]	Šířka B [mm]				
V10D	54,13	53,75	2909,49	40,00	13,7	14,2
V10E	52,40	53,94	2826,46	42,30	14,9	
V10F	52,12	54,67	2849,40	39,80	13,9	
V11D	53,66	56,49	3031,25	92,40	30,4	31,7
V11E	53,36	54,55	2910,79	98,07	33,6	
V11F	52,75	53,92	2844,28	88,06	30,9	
V12D	50,00	50,92	2546,00	16,53	6,4	7,0
V12E	49,65	50,2	2492,43	15,98	6,4	
V12F	50,29	50,64	2546,69	20,47	8,0	
V13D	51,76	49,96	2585,93	29,37	11,3	13,6
V13E	51,79	52	2693,08	54,58	20,2	
V13F	50,07	51,9	2598,63	23,48	9,0	
V14D	52,32	50,91	2663,61	32,71	12,2	8,7
V14E	52,03	52,72	2743,02	17,14	6,2	
V14F	52,63	51,92	2732,55	20,94	7,6	
V15D	52,44	52,21	2737,89	26,89	9,8	7,3
V15E	51,35	51,25	2631,69	15,95	6,0	
V15F	53,86	52,44	2824,42	17,24	6,1	
V16D	51,28	51,45	2638,36	22,13	8,3	10,1
V16E	50,68	50,86	2577,58	31,81	12,3	
V16F	50,31	50,68	2549,71	24,45	9,5	
V17D	49,40	48,27	2384,54	20,07	8,4	9,9
V17E	49,70	48,48	2409,46	27,64	11,4	
V17F	48,58	48,79	2370,22	23,07	9,7	
V18D	50,88	50,5	2569,44	29,97	11,6	9,9
V18E	51,13	50,83	2598,94	19,32	7,4	
V18F	50,24	51,65	2594,90	27,15	10,4	



Obr. č. 26,27 Vzorek kostky V6D z cihly V6 před a po zkoušce pevnosti v tlaku.
Objemová hmotnost 1700 kg/m^3 . K rozdrčení došlo při síle $F=44,29 \text{ kN}$, pevnost v tlaku $\sigma=15,6 \text{ MPa}$.



Graf č. 4 Porovnání výsledných hodnot z hlediska pevnosti v tlaku u vzorků zkoušených ve vysušeném stavu



Graf č. 5 Vývoj pevnosti v tlaku v závislosti na objemové hmotnosti (vlhkost vzorků $W=0\%$).

Výsledky vzorků, kde byla provedena simulace umístění v nevytápěných prostorách.

Výsledné hodnoty vzorků cihel V1-V18 (Tab. č. 14) se pohybují v rozmezí od 9 Mpa do 39,9 MPa, což znázorňuje graf č. 6. Výsledné hodnoty se vzájemně mírně liší a z grafu č. 7 je vidět, že s rostoucí vlhkostí klesá pevnost v tlaku. Výsledek zkreslují některé hodnoty pevnosti cihel (např. V 11, V4), což se opět projevuje na nízkém koeficientu determinance $R^2=0,117$. Je tedy pravděpodobné, že rozdílné hodnoty jsou ovlivněny degradačními procesy, které se u cihel mohou vzájemně lišit.

Tab. č. 14 Výsledné hodnoty pevnosti v tlaku po zkoušce simulace umístění v nevytápěných prostorách

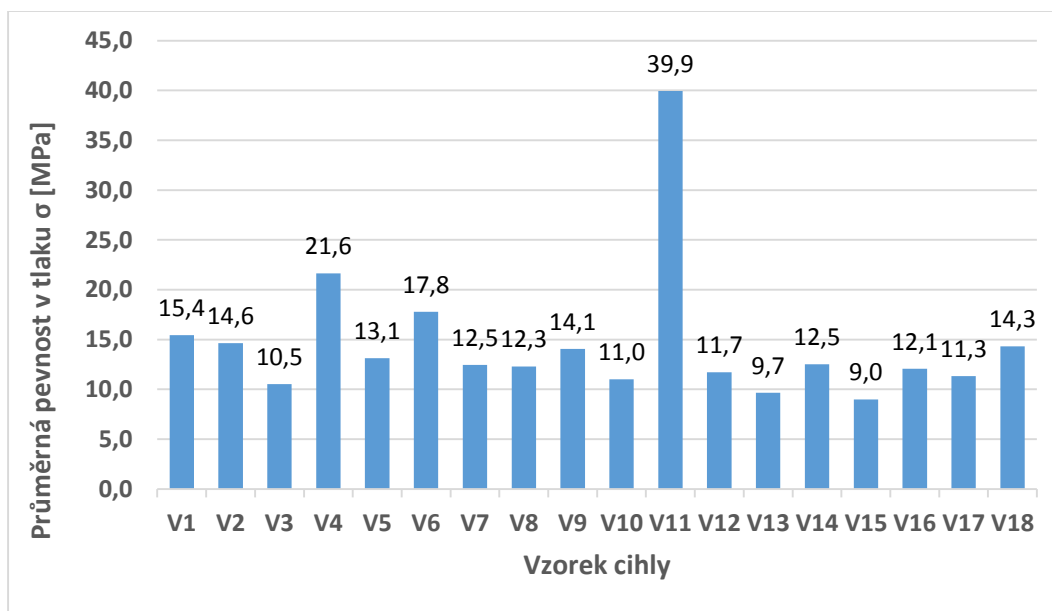
Vzorek	Rozměr vzorku		Tlačná plocha hlavy A [mm ²]	Nejvyšší zatížení při porušení F [kN]	Pevnost v tlaku σ [MPa]	Průměrná pevnost v tlaku σ [MPa]
	Délka L [mm]	Šířka B [mm]				
V1G	49,72	50,68	2519,81	39,31	15,6	15,4
V1H	50,14	50,01	2507,50	30,50	12,1	
V1I	50,00	50	2500,00	46,46	18,5	
V2G	50,74	48,84	2478,14	41,21	16,6	14,6
V2H	51,29	51,18	2625,02	29,84	11,3	
V2I	51,78	51,13	2647,51	42,05	15,8	
V3G	51,22	49,68	2544,61	26,13	10,2	10,5
V3H	50,89	51,15	2603,02	23,59	9,0	
V3I	51,33	50,88	2611,67	32,04	12,2	
V4G	50,69	50,32	2550,72	44,99	17,6	21,6
V4H	50,34	52,37	2636,31	64,84	24,6	
V4I	52,30	50,51	2641,67	60,00	22,7	
V5G	52,77	51,73	2729,79	32,96	12,0	13,1
V5H	52,69	51,6	2718,80	36,70	13,5	
V5I	51,11	52,93	2705,25	37,30	13,7	
V6G	52,89	53,63	2836,49	48,31	17,0	17,8
V6H	52,18	52,67	2748,32	51,53	18,8	
V6I	53,05	52,91	2806,88	49,32	17,5	
V7G	51,00	51,85	2644,35	37,20	14,0	12,5
V7H	53,18	52,2	2776,00	31,77	11,4	
V7I	51,31	51,95	2665,55	31,64	11,8	
V8G	51,89	51,49	2671,82	32,32	12,1	12,3
V8H	52,25	52,07	2720,66	32,04	11,7	
V8I	51,77	51,24	2652,69	34,64	13,0	
V9G	51,55	52,43	2702,77	34,51	12,7	14,1
V9H	52,11	52,66	2744,11	42,33	15,4	
V9I	52,69	53,71	2829,98	39,59	13,9	

Vzorek	Rozměr vzorku		Tlačná plocha hlavy A [mm ²]	Nejvyšší zatížení při porušení F [kN]	Pevnost v tlaku σ [MPa]	Průměrná pevnost v tlaku σ [MPa]
	Délka L [mm]	Šířka B [mm]				
V10G	53,15	51,87	2756,89	29,31	10,6	11,0
V10H	52,95	52,46	2777,76	32,04	11,5	
V10I	55,28	52,25	2888,38	31,50	10,9	
V11G	51,55	52,13	2687,30	104,44	38,8	39,9
V11H	54,00	55,3	2986,20	148,90	49,8	
V11I	51,11	51,46	2630,12	81,83	31,1	
V12G	51,00	51,19	2610,69	25,98	9,9	11,7
V12H	50,07	50,21	2514,01	26,24	10,4	
V12I	51,07	50,32	2569,84	38,06	14,8	
V13G	52,84	53,25	2813,73	25,34	9,0	9,7
V13H	51,70	51,72	2673,92	23,02	8,6	
V13I	53,50	52,2	2792,70	31,67	11,3	
V14G	51,55	52,14	2687,82	34,94	13,0	12,5
V14H	52,42	51,42	2695,44	31,50	11,6	
V14I	52,12	51	2658,12	34,26	12,8	
V15G	52,21	51,17	2671,59	25,96	9,7	9,0
V15H	51,13	49,88	2550,36	21,75	8,5	
V15I	51,14	49,6	2536,54	22,10	8,7	
V16G	50,45	50,8	2562,86	29,66	11,5	12,1
V16H	50,16	50,52	2534,08	31,31	12,3	
V16I	51,60	51,79	2672,36	32,70	12,2	
V17G	48,99	50,07	2452,93	23,51	9,5	11,3
V17H	49,12	49,07	2410,32	27,49	11,4	
V17I	47,91	49,69	2380,65	30,93	12,9	
V18G	52,01	49,43	2570,85	30,25	11,7	14,3
V18H	51,65	50,47	2606,78	41,28	15,8	
V18I	51,41	50,92	2617,80	40,17	15,3	

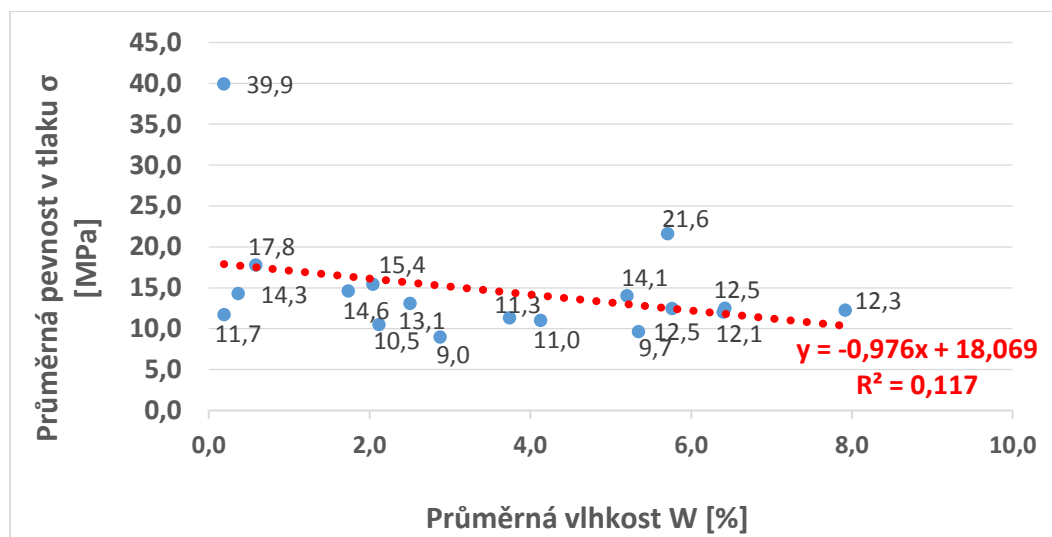


Obr. č. 28, 29 Vzorek kostky V6H z cihly V6 před a po zkoušce pevnosti v tlaku.

Vlhkost $W=0,4\%$. K rozdrčení došlo při síle $F=51,5$ kN, pevnost v tlaku $\sigma=18,8$ MPa.



Graf č. 6 Porovnání výsledných hodnot z hlediska pevnosti v tlaku vlhkých vzorků



Graf č. 7 Vývoj pevnosti v tlaku v závislosti na vlhkosti (vlhkost vzorků od 0,2 do 7,9%)

Výsledky vzorků, kde byla provedena zkouška nasákavosti.

Výsledné hodnoty vzorků cihel V1-V18 (Tab. č. 15) se pohybují v rozmezí od 6,3 MPa do 43,6 MPa, což znázorňuje graf č. 8. Hodnoty se vzájemně mírně liší a z grafu č. 9 je patrné, že s rostoucí nasákavostí klesá pevnost v tlaku. Výsledek zkreslují některé hodnoty pevnosti cihel (např. V 11), v tomto případě s koeficientem determinance o něco vyšším $R^2=0,3408$. Je velmi pravděpodobné, že působením degradačních procesů (mráz, soli) došlo ke zvýšení porózy, narušení struktury cihel s následným snížením pevnosti.

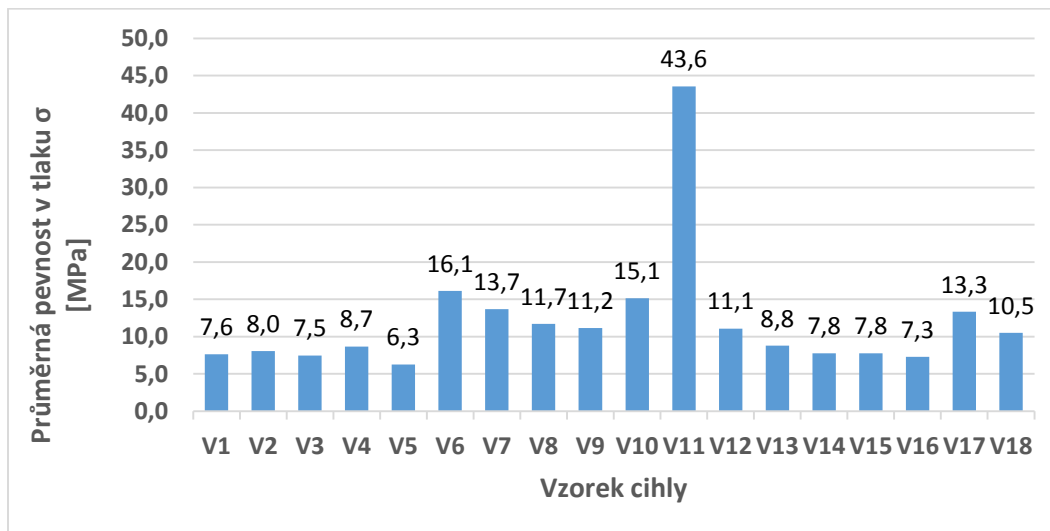
Tab. č. 15 Výsledné hodnoty pevnosti v tlaku po zkoušce nasákavosti

Vzorek	Rozměr vzorku		Tlačná plocha hlavy A [mm ²]	Nejvyšší zatížení při porušení F [kN]	Pevnost v tlaku σ [MPa]	Průměrná pevnost v tlaku σ [MPa]
	Délka L [mm]	Šířka B [mm]				
V1A	50,59	50,37	2548,22	17,41	6,8	7,6
V1B	50,38	50,05	2521,52	20,09	7,9	
V1C	50,13	50,76	2544,60	20,51	8,0	
V2A	51,40	50,76	2609,06	16,87	6,4	8,0
V2B	50,27	50,57	2542,15	22,14	8,7	
V2C	50,27	50,57	2542,15	22,80	8,9	
V3A	51,59	52	2682,68	17,68	6,5	7,5
V3B	51,06	49,55	2530,02	17,19	6,7	
V3C	51,84	50,6	2623,10	23,68	9,0	
V4A	50,51	52,12	2632,58	25,02	9,5	8,7
V4B	51,90	52,38	2718,52	25,16	9,2	
V4C	57,07	55,38	3160,54	23,01	7,3	
V5A	50,95	52,7	2685,07	7,92	2,9	6,3
V5B	52,10	52,92	2757,13	16,85	6,1	
V5C	51,95	52,6	2732,57	26,54	9,7	
V6A	51,55	53,08	2736,27	46,83	17,1	16,1
V6B	53,18	52,72	2803,65	44,11	15,7	
V6C	51,25	53,08	2720,35	42,22	15,5	
V7A	51,04	52,38	2673,48	39,77	14,8	13,7
V7B	52,12	51,02	2659,16	36,56	13,7	
V7C	51,83	52,49	2720,56	33,87	12,4	
V8A	52,58	51,36	2700,51	32,79	12,1	11,7
V8B	51,92	53,09	2756,43	34,59	12,5	
V8C	52,34	51,74	2708,07	28,41	10,4	
V9A	52,49	53,93	2830,79	31,24	11,0	11,2
V9B	52,49	51,44	2700,09	38,90	14,4	
V9C	51,79	52,5	2718,98	21,92	8,0	

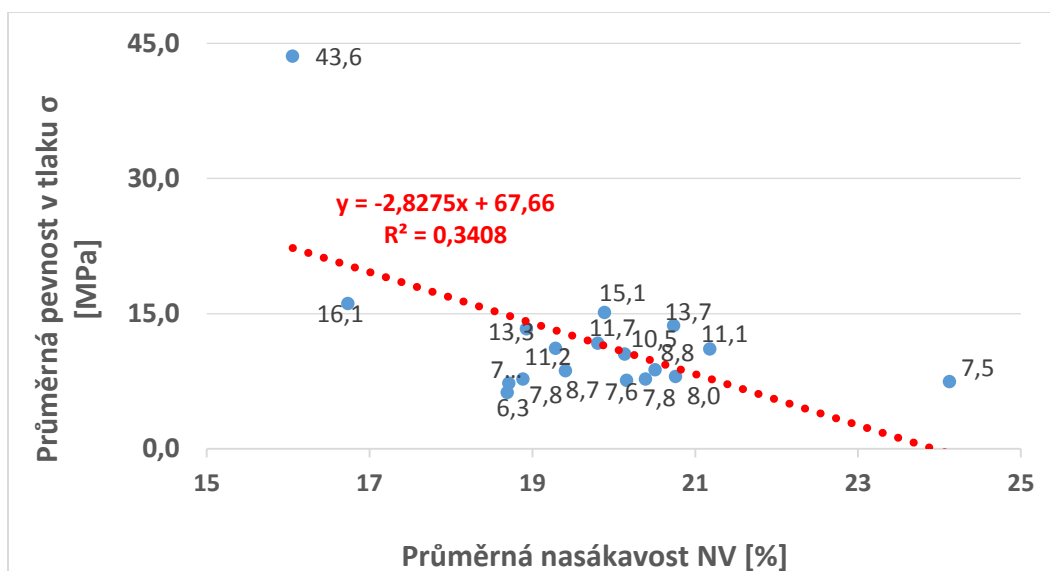
Vzorek	Rozměr vzorku		Tlačná plocha hlavy A [mm ²]	Nejvyšší zatížení při porušení F [kN]	Pevnost v tlaku σ [MPa]	Průměrná pevnost v tlaku σ [MPa]
	Délka L [mm]	Šířka B [mm]				
V10A	51,04	50,92	2598,96	44,78	17,2	15,1
V10B	50,45	50,86	2565,89	35,45	13,8	
V10C	49,87	50,12	2499,48	35,92	14,3	
V11A	54,02	54,08	2921,40	136,83	46,8	43,6
V11B	53,80	53,77	2892,83	148,93	51,4	
V11C	54,19	53,67	2908,38	94,06	32,3	
V12A	51,06	50,83	2595,38	25,97	10,0	11,1
V12B	51,40	50,78	2610,09	27,36	10,4	
V12C	49,77	51,42	2559,17	32,55	12,7	
V13A	48,76	52,42	2556,00	16,47	6,4	8,8
V13B	52,87	52,08	2753,47	26,26	9,5	
V13C	51,64	50,86	2626,41	27,20	10,3	
V14A	51,53	49,89	2570,83	10,39	4,0	7,8
V14B	52,61	50,68	2666,27	30,30	11,3	
V14C	50,69	52,51	2661,73	21,00	7,8	
V15A	51,37	50,08	2572,61	19,15	7,4	7,8
V15B	50,90	51,69	2631,02	18,04	6,8	
V15C	52,49	51,46	2701,14	24,25	8,9	
V16A	51,09	51,05	2608,14	15,73	6,0	7,3
V16B	51,47	51,14	2632,18	17,77	6,7	
V16C	51,22	51,23	2624,00	23,83	9,0	
V17A	49,10	49,83	2446,65	34,56	14,1	13,3
V17B	48,89	48,73	2382,41	30,59	12,8	
V17C	48,58	50,25	2441,15	31,81	13,0	
V18A	51,54	51,81	2670,29	30,11	11,2	10,5
V18B	51,44	51,92	2670,76	26,99	10,1	
V18C	51,96	49,56	2575,14	26,20	10,1	



Obr. č. 30, 31 Vzorek kostky V4C z cihly V4 před a po zkoušce pevnosti v tlaku.
Nasákavost 19,2%. K rozdrčení došlo při síle $F=23,01$ kN, pevnost v tlaku $\sigma=7,3$ MPa.



Graf č. 8 Porovnání výsledných hodnot z hlediska pevnosti v tlaku nasáklých vzorků



Graf č. 9 Vývoj pevnosti v tlaku v závislosti na nasákavosti (vlhkost vzorků $W=100\%$)

Z provedených pevnostních zkoušek lze konstatovat, že vzorek V11 je velmi atypický. Možnou příčinou je zřejmě vysoká teplota výpalu střepu, což dokazuje i tmavě šedá barva vzorku (Obr. č. 32).



Obr. č. 32 vzorek cihly V11

5.5. Aplikace Kučerovy vrtačky

Zkouška Kučerovou vrtačkou (Obr. č. 33) ověřuje pevnost v tlaku na základě dosažené hloubky vrtání. Princip této metody je založen na měření odporu zdiva proti průniku vrtáku, resp. na hloubce jeho navrtání. Průměr vrtáku upravené vrtačky PZZ 01 je 6mm. Před samotnou zkouškou je potřeba nastavit stupeň otáček na stupeň 2, očistit povrch cihel a vyměřit vzdálenosti vrtů od sebe.



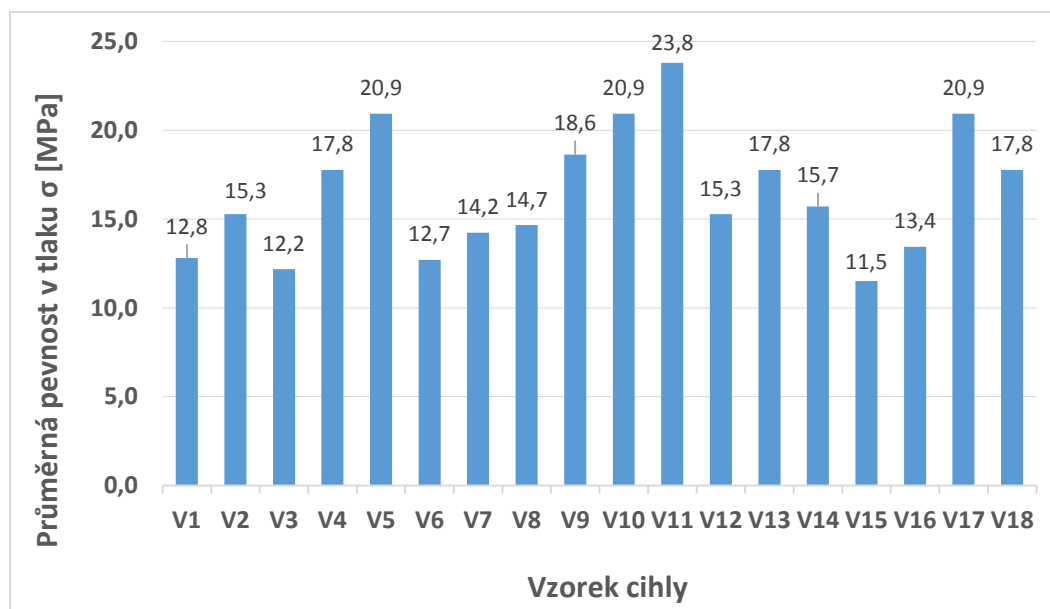
Obr. č. 33 Kučerova vrtačka PZZ 01 a vzorek cihly V12

Vyhodnocení zkoušky probíhá tak, že ze tří platných měření na jednom zkušebním místě se vypočte aritmetický průměr hloubky vrtů se zaokrouhlením na 1 mm (Obr. č. 34). Jako platné měření se uvažuje hloubka vrtu, která se neliší od průměrné hloubky o více než 30%. Upřesněná hodnota pevnosti zdícího prvku se stanoví pomocí kalibračního vztahu pro konkrétní druh zdícího prvku. V tomto případě se jedná o cihly plné pálené.

Vzorky cihel vykazovaly mírné nerovnosti, trhliny nebo větší dutiny. Vzdálenosti vrtů od hran cihel byly zvoleny v polovině výšky cihly a vzdálenosti vrtů od sebe nepřesáhla 40mm.



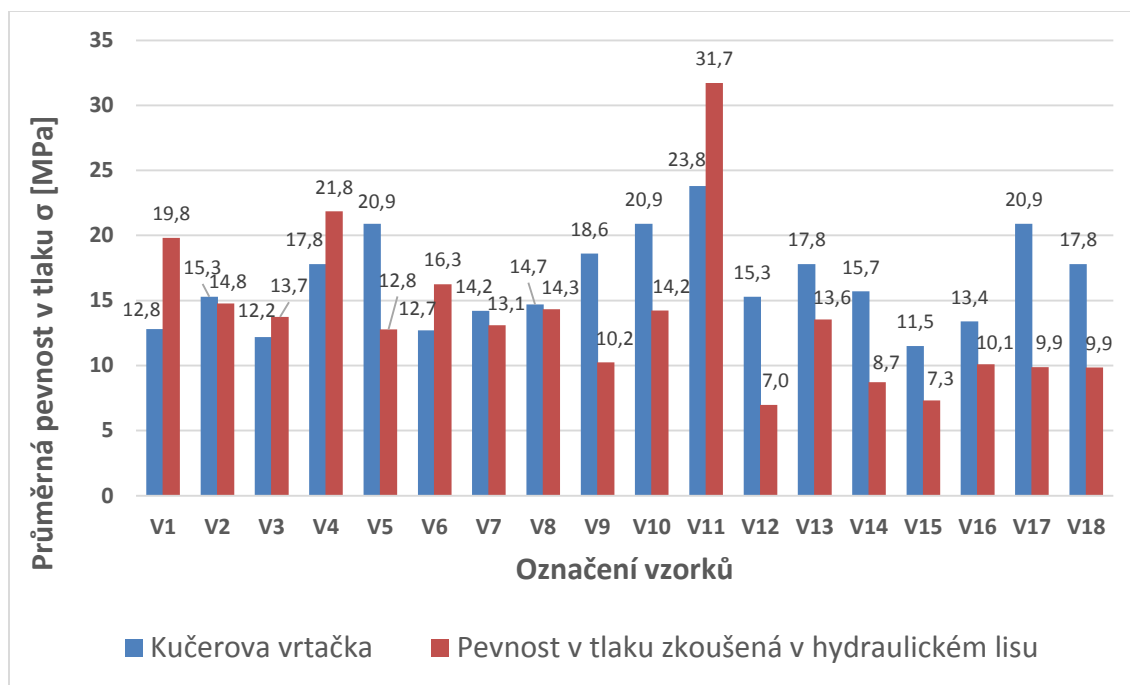
Obr. č. 34 Vzorek cihly V12 po aplikaci Kučerovy vrtačky PZZ 01



Graf č. 10 Výsledné hodnoty pevnosti v tlaku po aplikaci Kučerovy vrtačky

Tab. č. 16 Ověření pevnosti tlaku Kučerovou vrtačkou

Zdici prvek	Vývrt	Hloubka vývrtu [mm]	Pevnost dle příručky [MPa]	Průměr jednoho místa [MPa]	Zdici prvek	Vývrt	Hloubka vývrtu [mm]	Pevnost dle příručky [MPa]	Průměr jednoho místa [MPa]
V1	1	6	13,8	12,8	V10	28	3	19,5	20,9
	2	7	12,7			29	2	23,8	
	3	8	11,9			30	3	19,5	
V2	4	4	16,9	15,3	V11	31	2	23,8	23,8
	5	5	15,1			32	2	23,8	
	6	6	13,8			33	2	23,8	
V3	7	7	12,7	12,2	V12	34	6	13,8	15,3
	8	8	11,9			35	4	16,9	
	9	8	11,9			36	5	15,1	
V4	10	4	16,9	17,8	V13	37	4	16,9	17,8
	11	4	16,9			38	4	16,9	
	12	3	19,5			39	3	19,5	
V5	13	3	19,5	20,9	V14	40	5	15,1	15,7
	14	2	23,8			41	4	16,9	
	15	3	19,5			42	5	15,1	
V6	16	7	12,7	12,7	V15	43	8	11,9	11,5
	17	7	12,7			44	8	11,9	
	18	7	12,7			45	10	10,7	
V7	19	6	13,8	14,2	V16	46	6	13,8	13,4
	20	5	15,1			47	6	13,8	
	21	6	13,8			48	7	12,7	
V8	22	5	15,1	14,7	V17	49	3	19,5	20,9
	23	5	15,1			50	3	19,5	
	24	6	13,8			51	2	23,8	
V9	25	4	16,9	18,6	V18	52	4	16,9	17,8
	26	3	19,5			53	4	16,9	
	27	3	19,5			54	3	19,5	



Graf č. 11 Porovnání výsledných hodnot pevností v tlaku po aplikaci Kučerovy vrtačky a zkoušky pevnosti v tlaku vzorků (vysušený stav) v hydraulickém lisu

Výsledné hodnoty vzorků cihel V1-V18 (Tab. č. 16) po aplikaci Kučerovy vrtačky se pohybují v rozmezí od 11,5 Mpa do 23,8 MPa, což je znázorněno v grafu č. 10. Hodnoty jsou získané na základě kalibračního vztahu a je nutné si uvědomit, že pevnosti jsou získané z okrajových (povrchových) částí cihel – jsou tedy orientační. Pro získání přesné pevnosti je potřeba provést zkoušku, kde bude odzkoušen celý prvek, nikoliv jeho malá část (viz kap 5.4.). Rozdíl výsledných pevností mezi orientační zkouškou aplikováním Kučerovy vrtačky a přesnou zkouškou za použití hydraulického lisu je patrný z grafu č.11. Hodnoty pevností u některých cihel se liší až v desítkách procent. U některých cihel (např. V12) byla Kučerovou vrtačkou zjištěna vyšší hodnota pevnosti než destruktivními zkouškami a naopak některé cihly (např. V1) vykazovaly vyšší pevnost u destruktivního testování. Příčinou mohlo být působení degradačních procesů, které snížily pevnost jak na okraji (např. zmrazovacími cykly došlo k poškození a oslabení povrchu cihel), tak i v jádru cihel (působením solí došlo k narušení vnitřní struktury cihel). Nicméně, rozdíl mezi destruktivními a semidestruktivními výsledky je obecně znám a v některých případech může být s výhodou vyjádřen pomocí upřesněného kalibračního vztahu.

5.6. Stanovení obsahu solí

Stanovení obsahu solí je klíčovou zkouškou celé diplomové práce. Na základě výsledků zkoušky obsahu solí bylo možné určit orientační množství jednotlivých solí v každém vzorku a také posoudit vliv solí na fyzikálně-mechanické vlastnosti cihelného zdiva zemědělských objektů.

Zkouška obsahu solí se zaměřuje na nejdůležitější škodlivé vodorozpustné soli vyskytující se ve stavebních materiálech:

- sírany, kde nejčastěji vyskytující se soli jsou sádrovec, epsomit, thenardit, arkanit atd.;
- dusičnany, kde nejčastěji vyskytující se soli jsou nitromagnezit, nitrokalcit, nitronatrit;
- chloridy, kde nejčastěji vyskytující se soli jsou hydrofilit, kamenná sůl, antarkticit;
- uhličitany, kde nejčastěji vyskytující se soli jsou soda, termonatrit, potaš.

Výše jmenované soli jsou pouze příkladem. Smyslem zkoušky nebylo zjistit přesný typ vodorozpustné soli a množství soli v každém ze vzorků. Hlavním smyslem bylo zjistit, zda se soli v odebraných vzorcích vůbec vyskytují a také stanovit jejich orientační množství. S ohledem na smysl zkoušky byla vybrána i metoda zjištění obsahu solí pomocí indikačních papírků, které zjistí jak přítomnost solí, tak orientační množství jednotlivých solí. Dalšími metodami zjištění přítomností solí mohou být:

- stanovení obsahů chloridů a síranů pomocí titrace (ČSN EN 196-2);
- přístrojová metoda atomové absorpční spektrometrie (AAS) a plamenové fotometrie nebo spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP) (ČSN EN 775-2);
- EDTA metoda (ČSN EN 775-2).

Příprava a odběr vzorků odpovídali normě prEN 771-1.

Pro stanovení obsahu solí se použilo 18 odebraných vzorků a v reálu se jednalo o odřezy z celých zdících prvků. Při odběru nedošlo ke styku s vodou, aby nedošlo k vyluhování rozpustných solí. Z každého odebraného vzorku se připravil vzorek k drcení o váze 80-120g.

Pro následné drcení vzorku se dle normy má použít 1/5 z každého vzorku, přičemž velikost zrna by měla být větší než 10mm. Jelikož počet vzorků byl z důvodu dalších zkoušek omezený, bylo pro nadrcení použito 1/10 z každého vzorku. Po nadrcení a namletí (Obr. č. 35, 36) se získal kvartováním vzorek o váze nejméně 50g, který byl poté prosítován zkušebním sítem 125 μ m.

Pro stanovení obsahu solí pomocí indikačních papírků se do kádinky navážilo 10 \pm 0,05g cihelné drti a důkladně se rozmíchalo skleněnou tyčinkou s 50ml demineralizované vody. Poté se takto rozmíchaný vzorek postupně naléval do filtrační nálevky, ve které byl vložen filtrační papír se střední hustotou. Bylo velmi důležité dbát na pomalé nalévání tekutiny do nálevky, jelikož mohlo dojít k protržení filtračního papíru nebo k přetečení papíru v horní části, což by výsledek zkoušky znehodnotilo. Výsledný výluh byl poté pomocí indikačních papírků otestován na přítomnost solí a bylo orientačně stanoveno jejich množství.



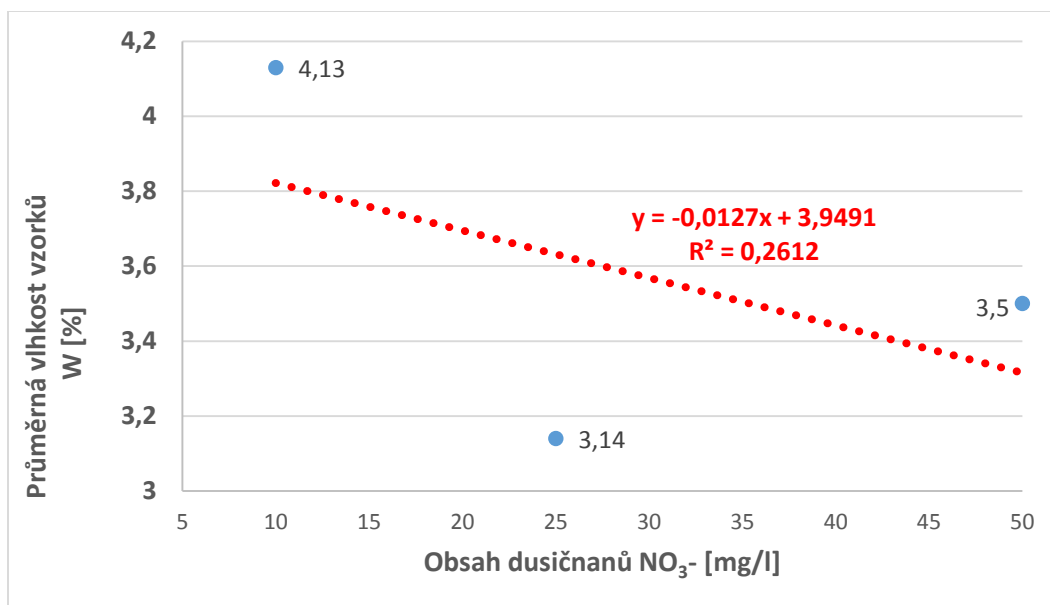
Obr. č. 35 Mechanický mlýn



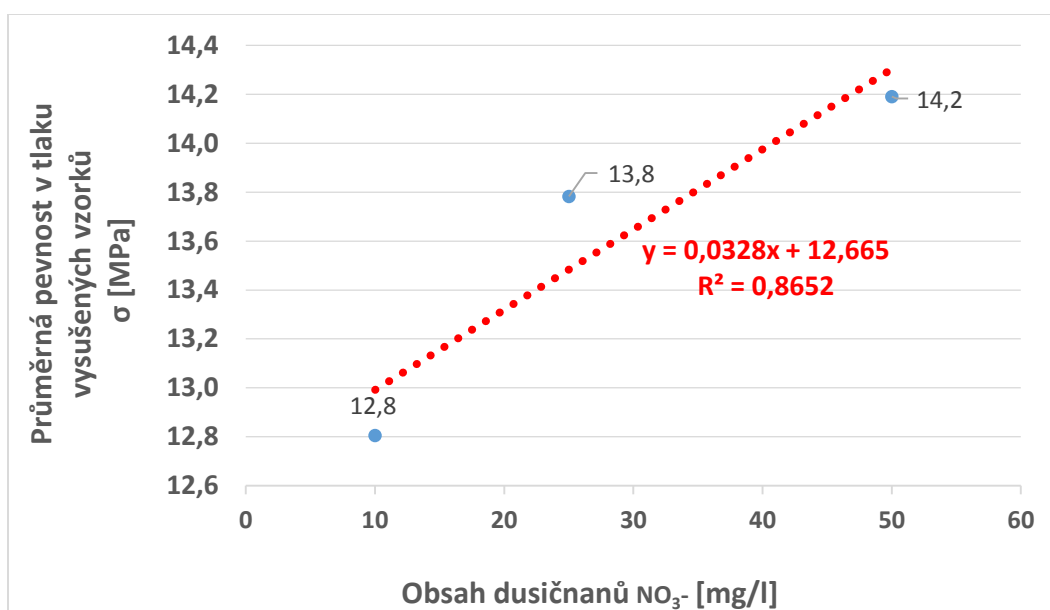
Obr. č. 36 Vzorek V1 po namletí

Tab. č. 17 Vyhodnocení obsahu solí

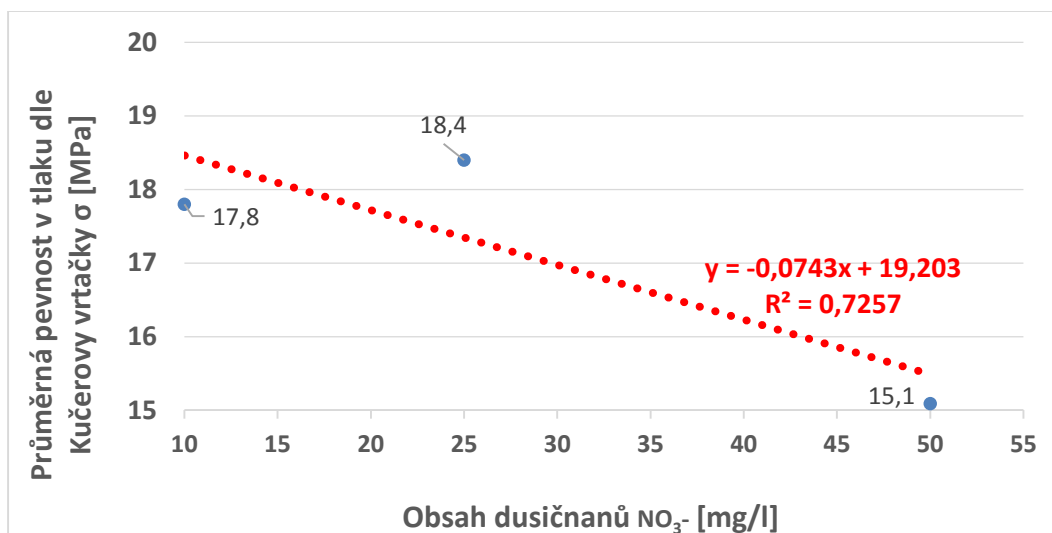
Vzorek	Dusičnany [mg/l]		Chloridy [mg/l]	Sírany [mg/l]
	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻
V1	50	0	0	<200
V2	50	0	0	<200
V3	50	0	0	<200
V4	50	4	0	<200
V5	50	0	0	<200
V6	50	0	0	<200
V7	50	0	0	<200
V8	10	0	0	<200
V9	25	0	0	<200
V10	10	0	0	<200
V11	25	0	0	<200
V12	25	0	0	<200
V13	50	0	0	<200
V14	50	0	0	<200
V15	50	0	0	<200
V16	25	0	0	<200
V17	25	0	0	<200
V18	10	0	0	<200



Graf č. 12 Závislost vlhkosti materiálu na obsahu dusičnanů. Hodnoty bodů v grafu jsou průměrnou hodnotou vlhkostí vzorků, které obsahovaly NO₃⁻ v množství 10, 25 nebo 50 mg/l.



Graf č. 13 Vývoj pevnosti v tlaku v závislosti na obsahu dusičnanů. Hodnoty bodů v grafu jsou průměrnou hodnotou pevnosti v tlaku vzorků, které obsahovaly NO₃⁻ v množství 10, 25 nebo 50 mg/l.



Graf č. 14 Vývoj pevnosti v tlaku po aplikaci Kučerovy vrtačky v závislosti na obsahu dusičnanů. Hodnoty bodů v grafu jsou průměrnou hodnotou pevnosti v tlaku vzorků, které obsahovaly NO₃⁻ v množství 10, 25 nebo 50 mg/l.

Výsledky obsahu solí (Tab. č. 17) ukazují, že obsah síranů (SO₄⁻) je menší než 200 mg/l a obsah chloridů (Cl⁻) je nulový, takže nebylo možné sledovat závislost pevnosti v tlaku na obsahu síranů a chloridů. Také nelze vyhodnotit závislost obsahu síranů respektive chloridů na vlhkosti. Cihelné vzorky nejvíce obsahují dusičnany (NO₃⁻) v množství 10-50 mg/l. Z těchto výsledků bylo možné sestavit graf č. 12, který popisuje vliv dusičnanů na vlhkost materiálu. Z grafu, lineární regresní funkce a koeficientu determinance $R^2=0,2612$ lze usoudit, že obsah dusičnanů mírně ovlivňuje přítomnost vlhkosti v cihelných vzorcích a to nepřímo úměrně.

Graf č. 13 popisuje závislost pevnosti tlaku na obsahu dusičnanů. Z grafu č. 13 lze konstatovat, že s rostoucím obsahem dusičnanů roste i pevnost v tlaku vysušených vzorků přibližně lineárně, což potvrzuje i poměrně vysoký koeficient determinance $R^2=0,8652$. Nicméně je nutné si uvědomit, že výsledek zkreslují některé hodnoty pevnosti cihel (např. V 1, V4, V11) a svou roli mohou hrát i hodnoty dalších parametrů materiálu.

Z grafu č. 14 je vidět, že s rostoucím obsahem dusičnanů lineárně klesá pevnost v tlaku (při aplikaci Kučerovy vrtačky), což potvrzuje koeficient determinance $R^2=0,7257$. Porovnáním grafu č.13 a č.14 je vidět rozdílný vývoj pevností při destruktivní zkoušce zcela vysušeného vzorku (viz graf č. 13) a zkoušce okrajové části cihel s určitou hodnotou vlhkosti(viz graf č. 14).

Z výsledků lze konstatovat, že výsledná pevnost je ovlivněna vlhkostí materiálu, ale zejména působícími degradačními procesy v okrajové části a vnitřní struktuře jednotlivých cihel, což potvrzuje také srovnání výsledků v grafu č. 11.

5.7. Vyhodnocení zkoušek pálených cihel zemědělských objektů

Vzhledem k výsledkům provedených zkoušek (stanovení objemové hmotnosti, simulace vlhkosti sušením, stanovení nasákavosti, zkoušení pevnosti v tlaku, aplikace Kučerovy vrtačky, stanovení obsahu solí) lze konstatovat, že jednotlivé cihly nepocházejí ze stejné cihelny a pro účely původního zemědělského objektu (ustájení skotu) byly pořízeny z různých zdrojů.

Výsledky zkoušek pravděpodobně ovlivnilo i uskladnění jednotlivých cihel po demolici zemědělského objektu, kdy cihly byly uskladněny ve vnějším prostředí na dřevěných paletách a zakryty byly pomocí igelitové fólie.

Z vyjádření závislosti pevností v tlaku na obsahu solí nelze udělat jednotný závěr, jelikož z výsledných hodnot jsou použitelné pouze hodnoty dusičnanů. Přítomnost síranů a chloridů byla minimální nebo nulová. Na základě výsledků lze konstatovat, že rostoucí obsah dusičnanů způsobuje nárůst pevnosti cihelných prvků v absolutně suchém stavu (u vzorků zkoušených destruktivně) viz graf č. 13. V případě vyjádření závislosti pevnosti v tlaku vzorků zkoušených Kučerovou vrtačkou na obsahu dusičnanů dochází naopak vlivem dusičnanů ke snížení pevnosti, což potvrzuje koeficient determinance uvedený v grafu č. 14. Pravděpodobnou příčinou může být zvýšená vlhkost vzorků, či rozdílné působení degradačních procesů na okraji a ve vnitřní struktuře cihel. V případě vyjádření závislosti vlhkosti na obsahu dusičnanů lze určitý vliv taktéž potvrdit (viz graf č. 12).

Výsledné hodnoty zkoušky obsahu solí mohly být ovlivněny i tím, že v průběhu let pravděpodobně docházelo k vyplavení solí vlivem vnějších podmínek. Rozdílné výsledky také mohlo ovlivnit rozmístění cihel na paletě, kde cihly umístěné na okraji byly vystaveny přímému působení vody. Z provedených zkoušek a vyjádření závislostí obsahu solí je tedy zřejmé, že soli s menší, či větší mírou ovlivňují vlastnosti cihel odebraných v Malenovicích.

6. Diagnostika bývalého zemědělského objektu v Dolních Životicích

Zemědělský objekt se nachází v obci Dolní Životice na parcelním čísle 239/10. dle katastru nemovitostí spadá do katastrálního území Dolní Životice, majitelem je obec Dolní Životice. Objekt se nachází v těsné blízkosti hlavní dopravní komunikace na ulici Hlavní (Obr. č. 37). Celková výměra objektu je 754 m².



Obr. č. 37 Pohled z jižní strany na zemědělský objekt

Stavba navazuje stěnou orientovanou na západ na zemědělský objekt na parc. č. 239/11. Východní stěna objektu navazuje na objekt na parc. č. 241, který slouží jako zdravotní středisko. (Obr. č. 38)



Obr. č. 38 Vyobrazení zemědělského objektu z katastru nemovitostí

6.1. Popis objektu a historie objektu

Zemědělský objekt souvisí s areálem bývalého zemědělského družstva Otice. Objekt byl určen k uskladnění a zpracování obilí. Po ukončení této činnosti byl objekt využíván ke skladování hnojiv (čilského ledku) a pravděpodobně i posypových solí (skupiny chloridů). Stavba byla postavena pravděpodobně kolem roku 1900 - 1920.

Z hlediska urbanistického se jedná stavbu obdélníkového půdorysu s přibližnými rozměry 13,5 x 56 m, která je řešena jako jednopodlažní stavba bez podsklepení. Objekt lze dispozičně rozdělit na část, kde se skladuje obilí a část technologickou. Vzájemně jsou obě části odděleny výškově.

Vstup je do objektu možný ze severní strany, kde se nachází posuvné dřevěné vrata nebo z jižní strany pomocí otvíravých dveří. Objekt je také dveřmi propojen v technologické části s objektem na parc.č. 239/11.

Základové konstrukce jsou pravděpodobně řešeny jako pásy z lomového kamene nebo betonu. Na základě doby realizace je velmi nepravděpodobné použití hydroizolací, pokud se zde hydroizolace nacházejí, jsou zřejmě dožilé. Podlaha je v celém objektu z provozních důvodů řešena jako souvislá betonová plocha.

Stěnové konstrukce jsou provedeny z cihelného nebo smíšeného zdiva. V roce 1982 byla v části skladovací a částečně v technologické části provedena přízdívka z betonových tvárnic. Šířka přízdívky je přibližně 1 m. Ve stěnových konstrukcích je předpoklad výskytu dusičnanů, případně i dalších solí.

Střešní konstrukce je řešena jako sedlová. Jedná se o dřevěný krov ležaté stolice se zavětrováním v rovině střechy. Ve střešní konstrukci se nachází celkem 2 světlíky pro odvětrání technologické i skladovací části. Krytina je provedena z ocelového plechu.

Rozvodna elektrické energie se nachází v technologické části pro nejkratší propojení s technologií. V současné době je elektroinstalace nefunkční.

Dešťová voda je ze střechy odváděna pomocí dešťových svodů a okapů.

6.2. Popis kritických míst objektu (včetně fotodokumentace)

Vnitřní prostory objektu

Analýzu kritických míst bylo možné provést pouze v části skladovací, jelikož do části technologické nebyl přístup umožněn a mezi jednotlivými částmi není přímé propojení.

Na první pohled se skladovací prostor jevil bez závažných poruch. Podlahová plocha z betonu je za období užívání narušena pouze povrchově. Narušení je způsobeno zejména pojezdem nákladních vozidel nebo vysokozdvizných plošin (Obr. č. 39). Na ploše jsou jen výjimečně povrchové trhliny, závažnější porušení trhlinami nebylo zjištěno.



Obr. č. 39 Podlahová plocha ve skladovací části – povrchové poškození způsobené provozem

Původní stěnové konstrukce navazující na základovou konstrukci nebylo ve vnitřní části možné posoudit z důvodů přízdívky, která je vysoká přibližně 2,5 – 3 m a široká 1 m. V částech, kde se přízdívka nenachází, nejsou viditelné trhliny nebo vlhkostní mapy, které by naznačovaly přítomnost zvýšené vlhkosti v konstrukci. Přízdívka, která byla postavena z betonových tvárnic a cihel, nevykazuje trhliny, které by vznikly účinky působícího zatížení nebo prostředí. Přízdívka je stejně jako podlahová plocha značně mechanicky narušena, což je způsobeno bývalým provozem. V částech, které navazují na podlahovou plochu, docházelo při provozu k odpadávání části tvárnic a cihel. Zvýšená vlhkost materiálu nebyla ve sledovaném období vizuálně příliš zřetelná, proto v této části konstrukce jižní stěny došlo k odběru vzorků V19, V20, V21 (Obr. č. 60 kap. 6.4.1.) na posouzení vlhkosti a také obsahu solí. Taktéž došlo k provedení vrtů ZM 4, ZM 5 pro stanovení orientační pevnosti v tlaku pomocí Kučerovy vrtačky (Obr. č. 54 kap 6.3.). Stěna navazující na zdravotní středisko (východní stěna) je taktéž povrchově poškozena provozem. U odkrytých cihel byly provedeny taktéž vrty ZM 1, ZM 2, ZM3 pro stanovení pevnosti v tlaku (Obr. č. 53 kap 6.3.).

Krovy a střešní konstrukce (Obr. č. 40) jsou ve vnitřní části ve velmi dobrém stavu bez viditelných trhlin nebo poškození způsobené dřevokazným hmyzem, či houbami. Jelikož nebylo možné analyzovat krovy detailněji kvůli špatné dostupnosti, není možné vyvodit další závěry.



Obr. č. 40 Konstrukce krovu

Vnější prostory objektu

Analýza stavu vnějších částí budovy na parc. č. 239/10 byla možná pouze ze severní a jižní části objektu z důvodů výskytu sousedních budov.

Severní strana objektu je na první pohled bez viditelných trhlin nebo poruch, které by mohly být způsobeny vlivem zatížení. Velmi patrné jsou již vlhkostní mapy způsobené nejpravděpodobněji vztlínáním vody ze zeminy, které lze vidět na obrázku 41.

Povrch stěn a lizén je esteticky znehodnocen vlhkostními mapami. Vzhledem k výskytu bílých až žlutých výkvětů můžeme předpokládat, že dochází i k působení solí. Příčiny vlhkosti jsou zřejmé již z analýzy dokumentů. Hydroizolace základů chybí nebo je již dožilá (Obr. č. 42), zemina je v přímém styku se základy a částečně i stěnou (Obr. č. 43) a vlhkost volně prostupuje do konstrukce i omítky nejčastěji ve formě vztlínající vody. Jelikož majitel s odběrem vzorků z této části nesouhlasil, vzorky ze severní strany objektu nebyly odebrány. Případným odběrem by mohlo dojít k odpadnutí velké části omítky nebo povrchové části zdiva. V těchto místech nebylo provedeno ani testování Kučerovou vrtačkou z důvodů vysokého drolení zdiva, které by mohlo výsledky měření zkreslit.



Obr. č. 41 Severní stěna objektu



Obr. č. 42, 43 Vlevo lze vidět odkrytou část mezi napojením okapu a stěnou a dále detail kontaktu obvodové zdivo - zemina. Vpravo je vidět odkrytá spodní část lizény a stěny, která je ve styku se zeminou.

V některých částech severní stěny jsou zřetelné stopy po zatékání vody v místech, kde se okap napojuje na střešní konstrukci (Obr. č. 44). Důvodem jsou zřejmě trhliny nebo deformace okapu, eventuálně i posun okapu směrem od střešní krytiny.



Obr. č. 44 Vlhkost pod okapem.

Vliv vlhkosti je patrný téměř po celé délce jižní stěny. Vlhkostní mapy zasahují až do výšky 1,5 m (Obr. č. 45) a zdivo je vlhké na dotyk. Příčina je stejná jako u severní stěny. Chybějící,

či dožilá hydroizolace umožňuje prostup vlhkosti do konstrukce a omítky. Na obr. č. 46 je vidět detail kontaktu zeminy a stěny, přičemž omítka je se zemínou v přímém styku a chybí jakákoliv ochrana zdiva proti odstříkující vodě, např. ve formě okapového chodníku, což problémy s vlhkostí ještě prohlubuje.



Obr. č. 45, 46 Vlevo je vidět vlhkostní mapa nad základovou konstrukcí. Vpravo kontakt stěny se zemínou.

K posouzení vlhkosti a obsahu solí byly odebrány vzorky z části stěn, kde bylo již zdivo obnaženo a nedocházelo k výraznému drolení zdících prvků ani malt. Na obr. č. 47, 48 a 49 jsou zobrazeny části stěn, kde byly vzorky odebrány pro laboratorní testování, nebo došlo k provedení vrtů pro stanovení pevnosti v tlaku pomocí Kučerovy vrtačky. Detailní znázornění vrtů lze vidět na obr. 56, 57, 58, 59 v kapitole 6.3.



Obr. č. 47, 48 Vlhkostní mapy na jižní stěně objektu



*Obr. č. 49, 50 Detail působení vlhkosti na smíšené zdivo, což vedlo k odpadnutí omítky (vlevo).
Vpravo je vidět odpad omítky za okapem.*

Na obr. č 50 je vidět detail poškozené omítky u okapu. Zároveň lze vidět již odkryté zdivo, které je nerovné a lokálně se drolí. Příčinou odpadávající omítky za okapem bude netěsnost svodu, například ve formě trhliny nebo poškozeného napojení okapového svodu s kotlíkem. Na obr. č. 51 je vidět napojení konstrukce na objekt zdravotního střediska na parc. č. 241 a je možné, že zvýšená vlhkost se bude vyskytovat také u tohoto objektu, který nebyl řešen.



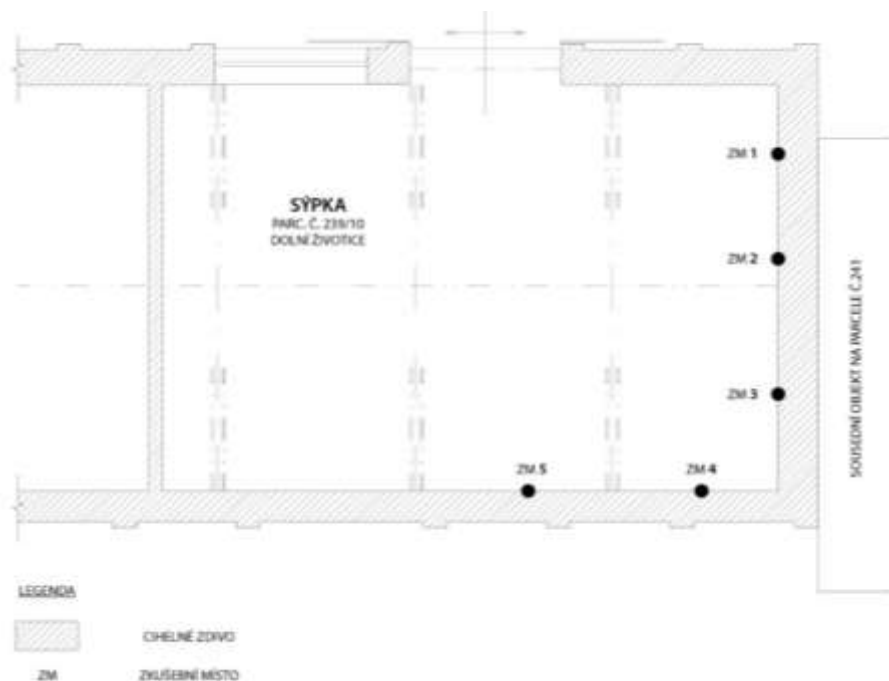
Obr. č. 51 Souvislá vlhkostní mapa na jižní stěně, která se napojuje na objekt na parc. č. 241

Průzkum proběhl za účasti mé osoby, starosty města a vedoucí práce. Z poznatků byl vytvořen výkres č. 1 s analýzou kritických míst a výkres č. 2 se schématem odběrných a zkušebních míst. Objekt nevykazoval závažné statické nebo funkční poruchy, které by vyžadovaly okamžité opatření.

6.3. Měření IN SITU - Aplikace Kučerovy vrtačky

Aplikace Kučerovy vrtačky probíhala IN SITU, jelikož nebylo možné odebrat celé vzorky cihel pro destruktivní testování. Místa pro aplikaci byly vybrány s ohledem na kvalitu povrchu zdiva. Celkem byly vybrány 3 zkušební části:

- A) Vnitřní prostory sýpky na parc. č. 239/10 (stěna navazující na sousední objekt č. 241 a jižní stěna), kde na 5 místech bylo provedeno 30 vrtů (Obr. č. 52). Vrty byly provedeny v místech, kde omítka nezakrývala cihelné zdivo. Jelikož se jedná o desítky let starý objekt, bylo nutné vybrat části zdiva s rovným povrchem a také nesmělo při vrtání docházet k odlamování části cihel. Vzorky byly odebrány z dodatečné přízdívky (Obr. č. 53 a 54), protože nebylo možné provést odběr z původní zděné konstrukce.



Obr. č. 52 Schéma zkušebních míst vrtů ve vnitřních prostorech sýpky



Obr. č. 53 Naznačení zkušebních míst ZM 1-3 ve vnitřních prostorách sýpky



Obr. č. 54 Naznačení zkušebních míst ZM 4-5 ve vnitřních prostorách sýpky

Tab. č. 18 Ověření pevnosti tlaku Kučerovou vrtačkou – vnitřní prostory sýpky

Místo	Zdici prvek	Vývrt	Hloubka vývrtu [mm]	Pevnost dle příručky [MPa]	Průměr jednoho místa [MPa]	$(x_i - \bar{x})^2$ [MPa ²]
ZM 1	1	1	9	11,2	11,0	4,2711
		2	10	11,2		
		3	10	10,7		
	2	4	3	19,5	17,8	21,7778
		5	4	16,9		
		6	4	16,9		
ZM 2	3	7	6	13,8	13,6	0,2500
		8	5	15,1		
		9	8	11,9		
	4	10	5	15,1	14,7	2,4544
		11	5	15,1		
		12	6	13,8		
ZM 3	5	13	12	9,7	10,4	7,4711
		14	9	11,2		
		15	11	10,2		
	6	16	6	13,8	15,3	4,6944
		17	5	15,1		
		18	4	16,9		
	7	19	6	13,8	14,2	1,2844
		20	5	15,1		
		21	6	13,8		
ZM 4	8	22	9	11,2	10,9	4,9878
		23	11	10,2		
		24	9	11,2		
	9	25	7	12,7	12,2	0,8711
		26	8	11,9		
		27	8	11,9		
ZM 5	10	28	9	11,2	11,0	4,2711
		29	10	10,7		
		30	9	11,2		

Výpočet:

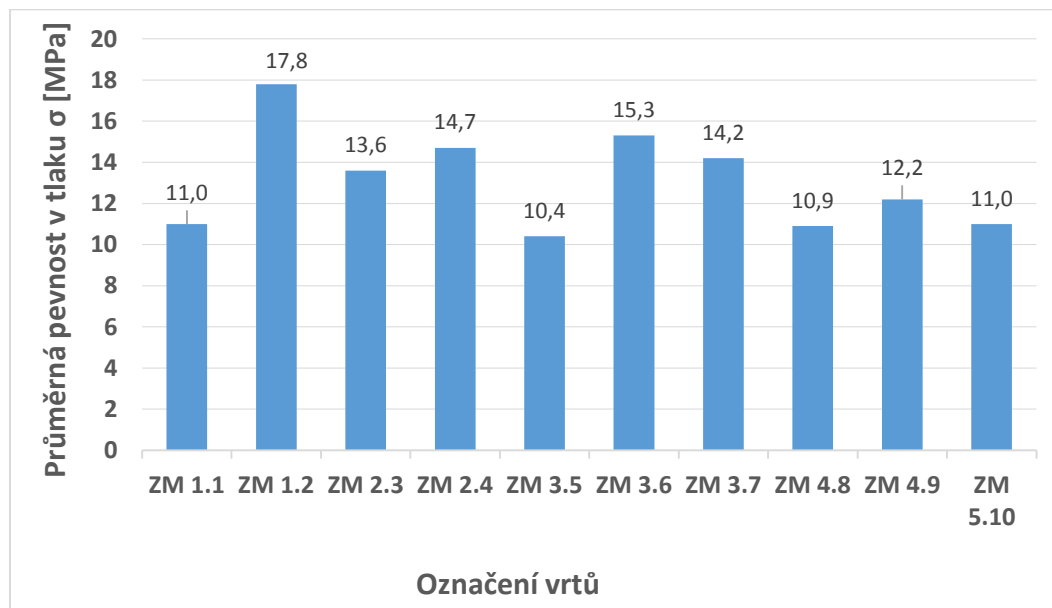
$$R = R_m - t_n * S_r \quad (5)$$

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 13,1 \text{ MPa} \quad (6)$$

$$t_n = 0,44 \quad (7)$$

$$S_{x'} = \frac{1}{n-1} \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} = 2,41 \text{ MPa} \quad (8)$$

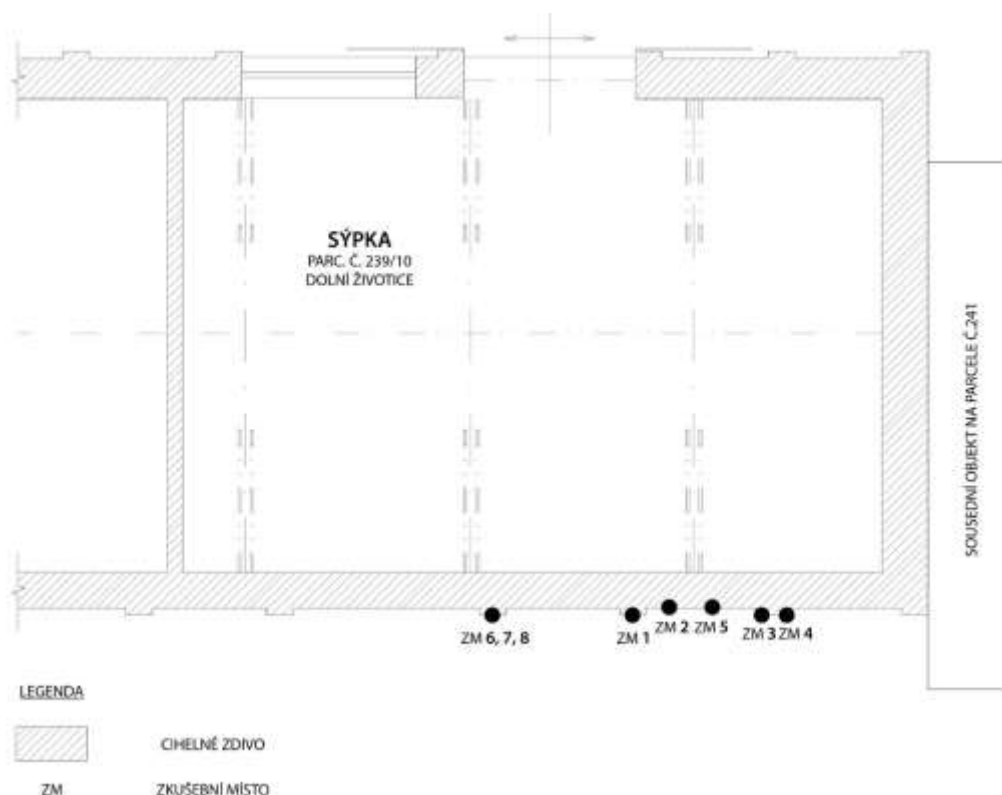
$$R = 13,1 - 0,44 * 2,41 = 12,04 \text{ MPa} = 12,04 \text{ MPa}$$



Graf č. 15 Hodnoty pevnosti v tlaku zkušebních míst ZM1-ZM5 po aplikaci Kučerovy vrtačky ve vnitřních prostorech sýpky

Celkem bylo provedeno ve vnitřních prostorech sýpky 30 vrtů na 5 zkušebních místech. Hodnoty pevnosti v tlaku jednotlivých vrtů jsou uvedeny v tabulce č. 18. Graf č. 15 graficky znázorňuje výsledky jednotlivých zkušebních míst. Z výpočtu lze konstatovat, že pevnost zdících prvku ve vnitřních prostorech sýpky je 12,04 MPa.

- B) Vnější prostory sýpky na parc. č. 239/10 (jižní strana), kde na 8 místech bylo provedeno 24 vrtů (Obr. č. 55). Vrtů byly provedeny ve vlhkých částech původního obvodového zdiva (zdivo u okapu nebo zdivo v místě, kde se nenacházela omítka), a také v částech, které nebyly vlhkosti dotčeny. V těchto případech došlo k provedení vrtů po částečném oklepání vnější omítky. Některé vrtů byly provedeny na lizénách a dalších částech obvodových stěn. Jednalo se o místa s největším předpokladem kontaminace solemi. Vrtů jsou znázorněny na obrazech č. 56, 57, 58, 59.



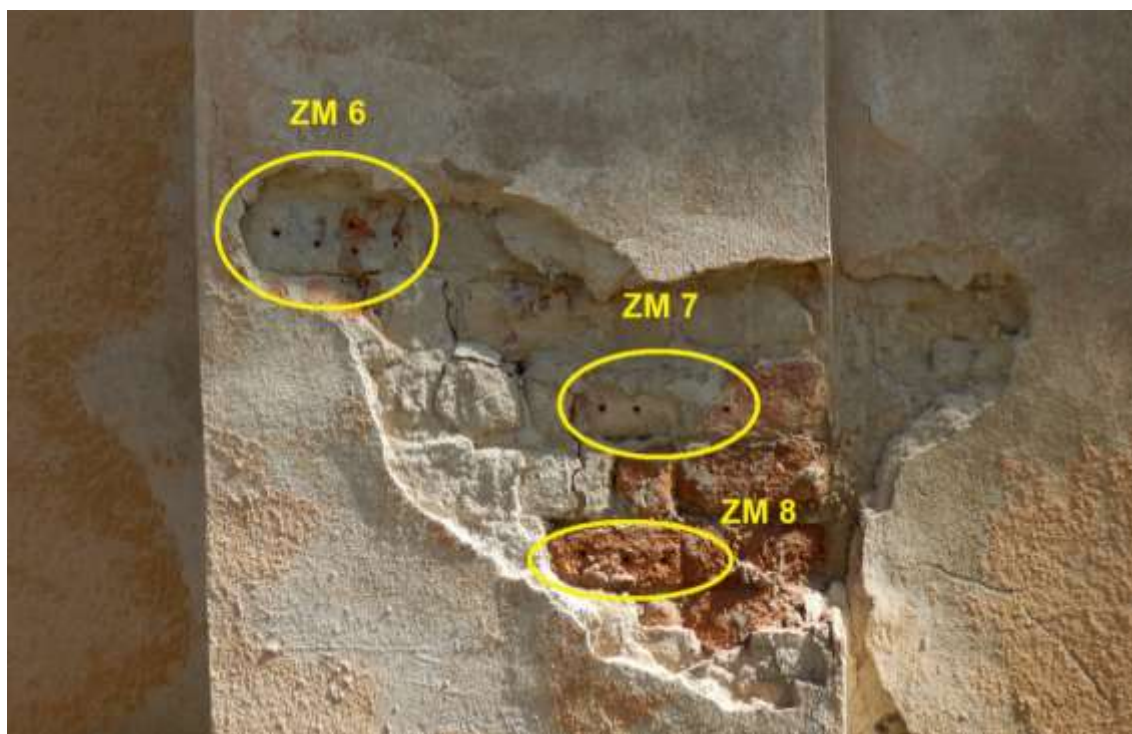
Obr. č. 55 Schéma zkušebních míst vývrtů ve vnějších prostorách sýpky



Obr. č. 56 Naznačení zkušebních míst ZM 1-5 ve vnějších prostorách sýpky



Obr. č. 57 Naznačení zkušebních míst ZM 1-2 a ZM 6-8 ve vnějších prostorách sýpky



Obr. č. 58 Detail provedených vrtů ZM 6-8 ve vnějších prostorách sýpky



Obr. č. 59 Detail provedených vrtů ZM 1-2 ve vnějších prostorách sýpky

Tab. č. 19 Ověření pevnosti tlaku Kučerovou vrtačkou – vnější prostory sýpky

Místo	Zdici prvek	Vývrt	Hloubka vývrtu [mm]	Pevnost dle příručky [MPa]	Průměr jednoho místa [MPa]	$(x_i - \bar{x})^2$ [MPa ²]
ZM 1	1	1	25	6,7	6,4	4,1854
		2	28	6,4		
		3	30	6,2		
ZM 2	2	4	13	9,3	10,1	2,5202
		5	11	10,2		
		6	10	10,7		
ZM 3	3	7	4	16,9	15,3	46,0702
		8	5	15,1		
		9	6	13,8		
ZM 4	4	10	12	9,7	9,2	0,5688
		11	15	8,7		
		12	13	9,3		
ZM 5	5	13	3	19,5	18,6	103,1071
		14	3	19,5		
		15	4	16,9		
ZM 6	6	16	12	9,7	9,7	1,4904
		17	11	8,2		
		18	9	11,2		
ZM 7	7	19	28	6,4	6,4	4,4627
		20	27	6,5		
		21	30	6,2		
ZM 8	8	22	14	9	8,6	0,0238
		23	15	8,7		
		24	17	8,2		

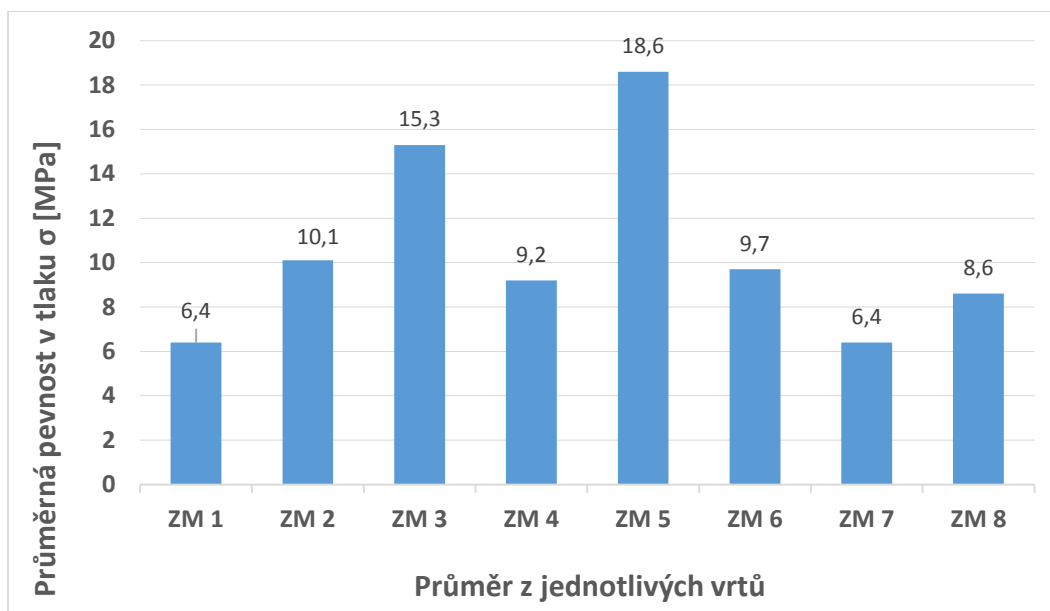
Výpočet:

$$R = R_m - t_n * S_r = 8,5 - 0,2368 * 4,28 = 7,33 \text{ MPa} \quad (5)$$

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 8,5 \text{ MPa} \quad (6)$$

$$t_n = 0,268 \quad (7)$$

$$S_x' = \frac{1}{n-1} \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} = 4,28 \text{ MPa} \quad (8)$$



Graf č. 16 Hodnoty pevnosti v tlaku zkušebních míst ZM1-ZM8 po aplikaci Kučerovy vrtačky ve vnějších prostorech sýpky

Celkem bylo provedeno ve vnějších prostorech sýpky 24 vrtů na 8 zkušebních místech. Hodnoty pevnosti v tlaku jednotlivých vrtů jsou uvedeny v tabulce č. 19. Graf č. 16 graficky znázorňuje výsledky jednotlivých zkušebních míst. Nejnižší pevnosti dosáhl cihelný prvek zkoušený v místě ZM1, který se vyskytoval několik centimetrů od okapového svodu, což byla zřejmě hlavní příčina nízké pevnosti (vysoká vlhkost). Z výpočtu lze konstatovat, že průměrná pevnost zdících prvků ve vnějších prostorech sýpky je 7,33 MPa.

Z výsledků zkoušek provedených ve vnitřních a vnějších prostorech sýpky je zřejmé, že pevnost cihelných prvků ve vnitřních prostorech je vyšší o 4,71 MPa. Hlavním důvodem je to, že materiál použitý na přízdívce v interiéru se od exteriérových zdících prvků liší. Další příčinou nižší pevnosti zdících prvků ve vnějších prostorech je pravděpodobně i agresivita vnějšího prostředí, spočívající zejména v působení teploty a vyšší vlhkosti materiálu.

6.4. Laboratorní měření

6.4.1. Stanovení vlhkosti

Zkouška stanovení vlhkosti probíhala dle normy ČSN ISO 12570 [3]. Principem zkoušky bylo vysušit odebraný vzorek do ustálené hmotnosti. Odběr vzorků byl proveden v interiéru sýpky na třech místech a v exteriéru na 2 místech (Obr. č. 60) ručním vysekáváním pomocí kladívka a ocelového klínu (Obr. č. 61). Vrtačka nebyla použita, jelikož by jejím zahříváním mohlo dojít k částečnému vysušení vzorku, a tím zkreslení výsledků.

Sušení probíhalo po převozu vzorků v laboratoři. Pro zachování vlhkosti vzorků byly při odběru a převozu zabaleny parotěsné fólie. V laboratoři byla následně pomocí digitálních vah zvážena hmotnost zkušební vzorku (m_1) s přesností na 0,0001 kg. Po zvážení se vzorky umístily do sušárny s definovanou teplotou $105 \pm 5^\circ\text{C}$ a sušení probíhalo do ustálení hmotnosti. Ustálené hmotnosti bylo dosaženo již po 24 hodinách, jelikož se jednalo o poměrně malé vzorky.

Výpočet vlhkosti probíhal dle vzorce:

$$W = \frac{m_1 - m_3}{m_3} [\%] \quad (2)$$

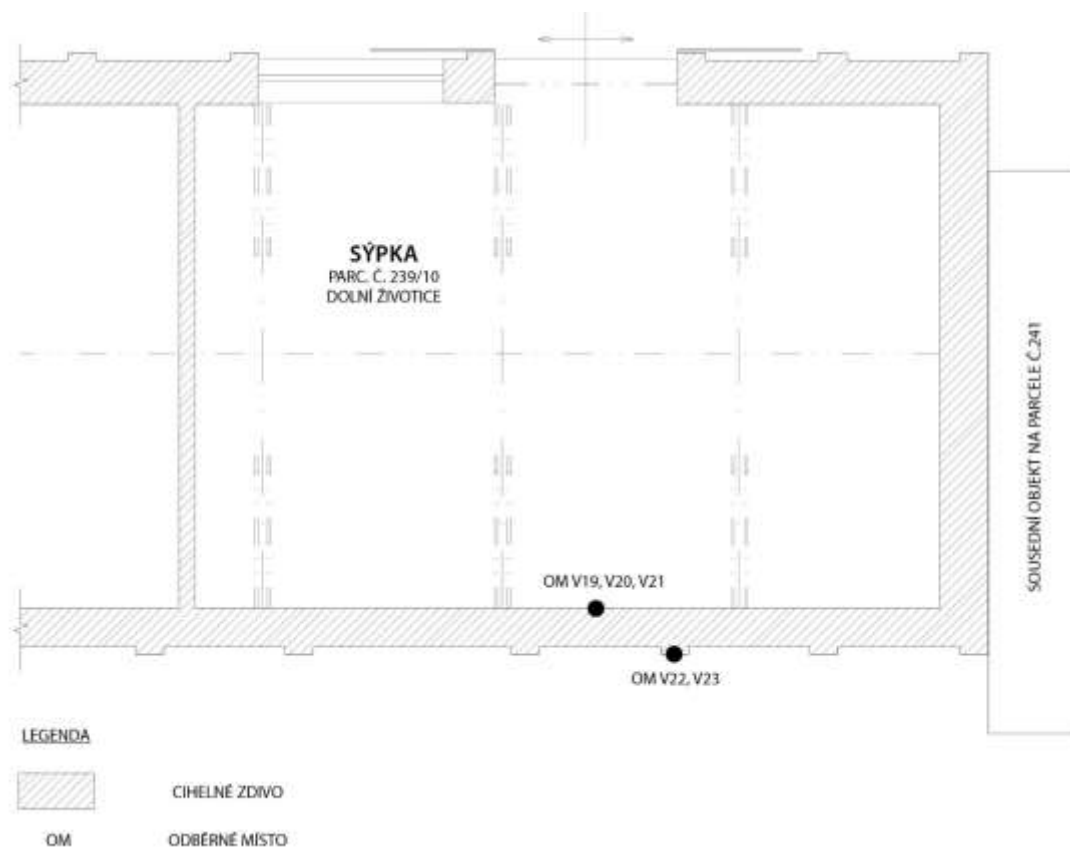
,kde:

m_1 hmotnost zkušební vzorku před vysušením [kg]

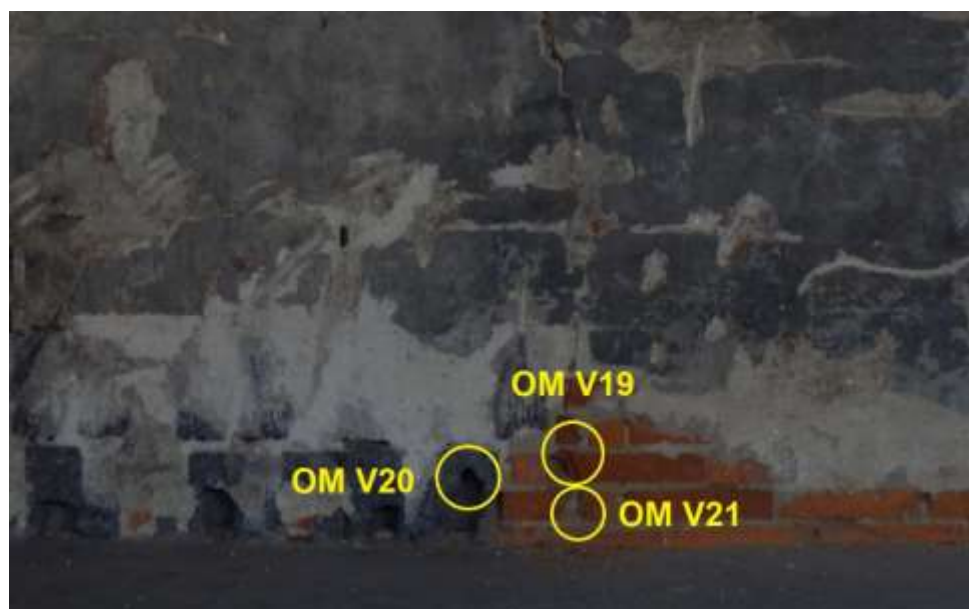
m_3 hmotnost zkušební vzorku po vysušení [kg]

Tab. č. 20, 21 Stanovení vlhkosti vzorků (vlevo) a zařídění vzorků dle ČSN P 73 0610 [5] (vpravo)

Vzorek	Vlhkost [%]	Vlhkost zdiva W v % hmotnosti	Stupeň vlhkosti	Zatřídění vzorků
V19 Cihla z interiéru sýpky	2,2	$w < 3$	Velmi nízká	V 19 , V22
V20 Betonová tvárnice	5,9	$3 \leq w < 5$	Nízká	V 21, V 23
V21 Malta z interiéru sýpky	4,7	$5 \leq w < 7,5$	Zvýšená	V 20
V22 Vnější omítka	3	$7,5 \leq w \leq 10$	Vysoká	-
V23 Obnažená cihla z exteriéru	3,3	$w > 10$	Velmi vysoká	-



Obr. č. 60 Schéma odběrných míst vzorků pro stanovení vlhkosti



Obr. č. 61 Naznačení míst odběru vzorků pro stanovení vlhkosti

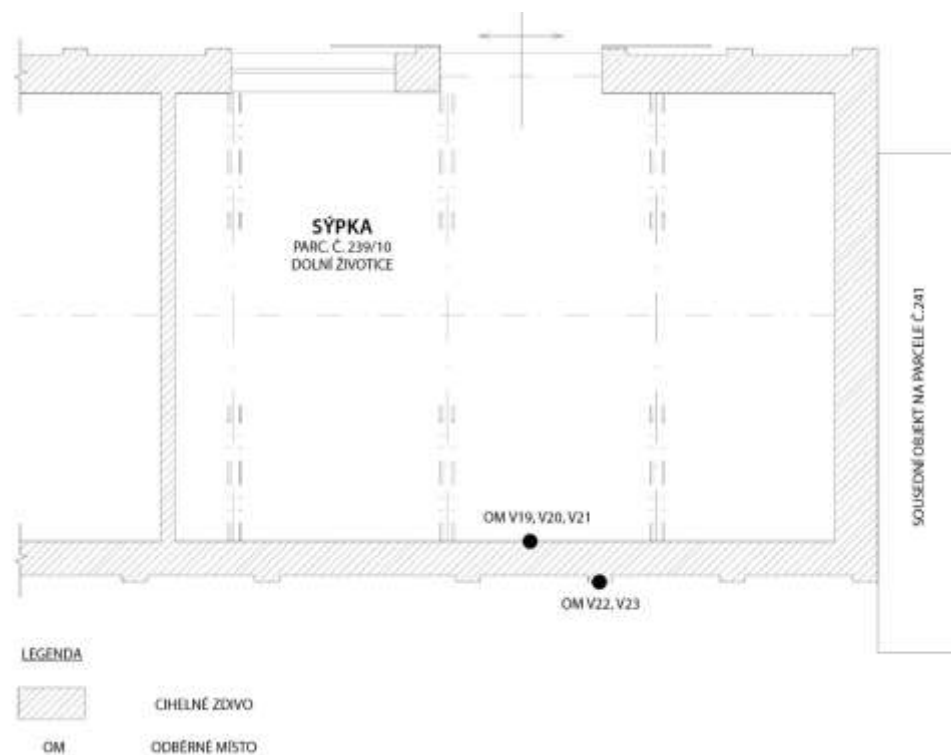
Z výsledku měření vlhkosti (Tab. č. 20) lze konstatovat, že nejvyšší vlhkost byla zjištěna u vzorku V20, který byl odebrán z betonové tvárnice ve vnitřním prostředí sýpky. Příčin může být několik. Odběrné místo OM 20 se nacházelo přibližně 15 cm od podlahové konstrukce, tvárnice obsahovala na povrchu velký počet póru a celkově struktura tvárnice byla pórovitá. Vlhkost se do poškozené tvárnice pravděpodobně infiltrovala dvěma způsoby ze základové konstrukce vztlínáním a sorpcí z okolního vzduchu. Rozdílný obsah vlhkosti mezi vzorky odebranými ve vnějším prostředí V 22, V23 a vzorky odebranými ve vnitřním prostředí V20, V21 je v tom, že při odběru vzorků V 22, V23 byla teplota vnějšího prostředí značně vyšší, odběrná místa OM 22 a OM 23 se nacházela výše nad navlhlostí základovou konstrukcí a na jižní stěnu, kde se OM 22 a OM 23 nacházela, dopadalo přímé sluneční záření. Tyto faktory mohly ovlivnit výsledky měření. Za poměrně nízkými hodnotami vlhkosti je také to, že po celé sledované období byl úhrn srážek minimální. Výsledné hodnoty vlhkosti byly taktéž klasifikovány z hlediska stupně vlhkosti zdiva dle normy ČSN P 73 0610 (Tab. č. 21).

6.4.2. Stanovení obsahu solí

Stanovení obsahu solí v zemědělském objektu v Dolních Životicích probíhalo stejným způsobem jako u stanovení obsahu solí u vzorků cihel z Malenovic (kapitola 5.5.). Jelikož nebylo možné odebrat a převést do laboratoře celé vzorky, bylo nutné vzorky odebrat IN SITU. Odebráno bylo 5 vzorků (Obr. č. 63). a následně stanoven obsah solí pomocí filtrace (Obr. č. 62) a indikačních papírků.



Obr. č. 62 Průběh filtrace vzorků



Obr. č. 63 Schéma odběrných míst vzorků pro stanovení obsahu solí.

Tab. č. 22 Stanovení obsahu solí vzorků odebraných v prostorech sýpky

Vzorek	Dusičnany [mg/l]		Chloridy [mg/l]	Sírany [mg/l]
	NO ₃ -	NO ₂ -	Cl ⁻	SO ₄ -
V19 Cihla z interiéru sýpky	500	0	1000	300
V20 Betonová tvárnice	250	0	1500	>400
V21 Malta z interiéru sýpky	250	0	1500	<200
V22 Vnější omítka	500	0	500	<200
V23 Obnažená cihla z exteriéru	500	>1	1000	<200

Celkový stupeň zasolení zdiva se podle zjištěných hodnot (Tab. č. 22) hodnotí jako nízký, střední nebo vysoký dle normy ČSN P 73 0610 (Tab. č. 6, kapitola 3.4.2.). Výsledné hodnocení jednotlivých vzorků (Tab. č. 23) lze provést na základě vztahu:

$$X_{Vn,si} = \frac{V_{ZV} * m_{Vn,si}}{m_{ZM}} * 100 \quad [\%] \quad (9)$$

,kde:

V_{ZV}objem zkušební vzorku (demineralizovaná voda + vzorek materiálu) [l]

$m_{Vn,si}$ hmotnost soli zkušební vzorku z Tab. č. 22 [g/l]

m_{ZM}hmotnost zkušební materiálu (vzorek materiálu) [g]

Příklad výpočtu hodnoty stupně zasolení zdiva vzorku V19 a zařídění dle ČSN P 73 0610:

Dusičnany:

$$X_{V19,NO_3^-} = \frac{V_{ZV} * m_{V19,NO_3^-}}{m_{ZM}} * 100 = \frac{0,06 * 0,5}{10} * 100 = \mathbf{0,3 \%} \Rightarrow \mathbf{Střední}$$

Chloridy:

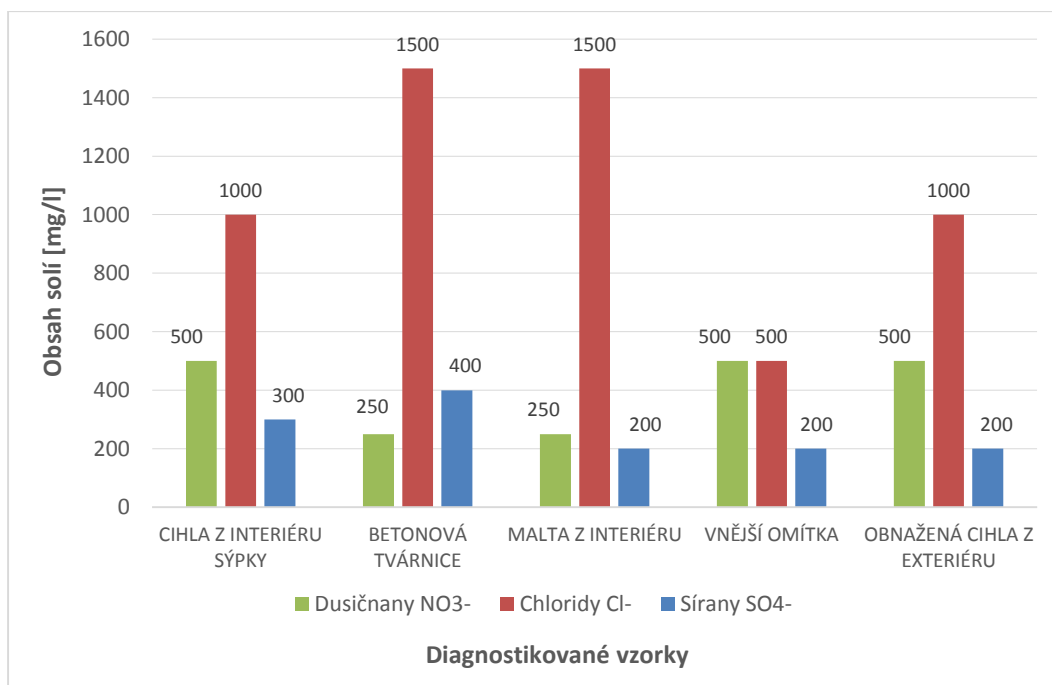
$$X_{V19,Cl^-} = \frac{V_{ZV} * m_{V19,Cl^-}}{m_{ZM}} * 100 = \frac{0,06 * 1,0}{10} * 100 = \mathbf{0,6 \%} \Rightarrow \mathbf{Vysoký}$$

Sířany:

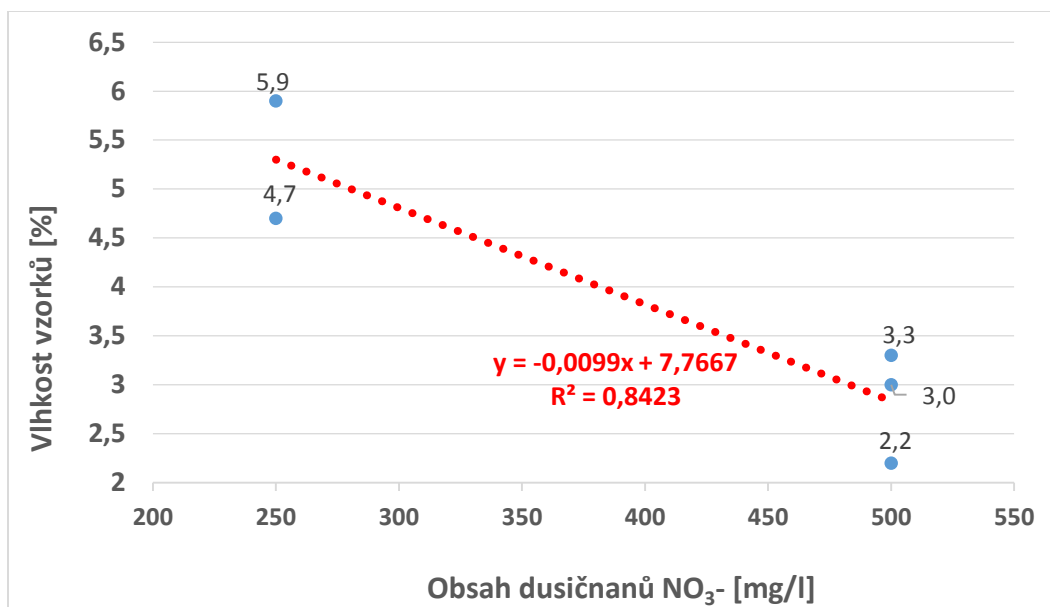
$$X_{V19,SO_4^-} = \frac{V_{ZV} * m_{V19,SO_4^-}}{m_{ZM}} * 100 = \frac{0,06 * 0,3}{10} * 100 = \mathbf{0,2 \%} \Rightarrow \mathbf{Nízký}$$

Tab. č. 23 Zatřídění vzorků dle ČSN P 73 0610 [5]

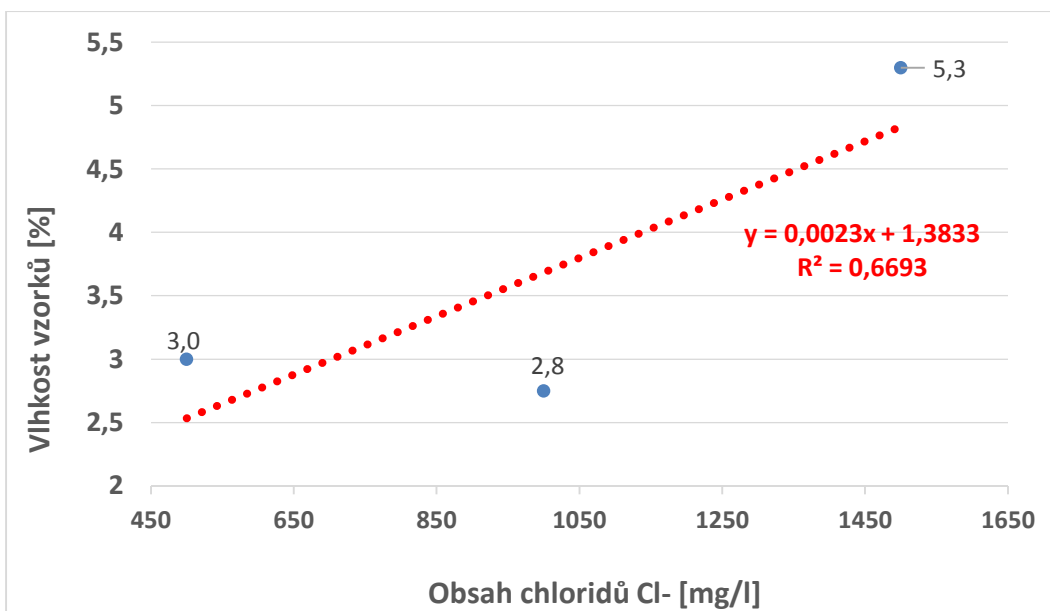
Vzorek	Obsah solí v % hmotnosti		
	Dusičnany NO ₃ -	Chloridy Cl ⁻	Sírany SO ₄ -
V19 Cihla z interiéru sýpky	0,3 % - Střední	0,6 % - Vysoký	0,2 % - Nízký
V20 Betonová tvárnice	0,2 % - Střední	0,9 % - Vysoký	0,2 % - Nízký
V21 Malta z interiéru sýpky	0,2 % - Střední	0,9 % - Vysoký	0,1 % - Nízký
V22 Vnější omítka	0,3 % - Střední	0,3 % - Střední	0,1 % - Nízký
V23 Obnažená cihla z exteriéru	0,3 % - Střední	0,6 % - Vysoký	0,1 % - Nízký



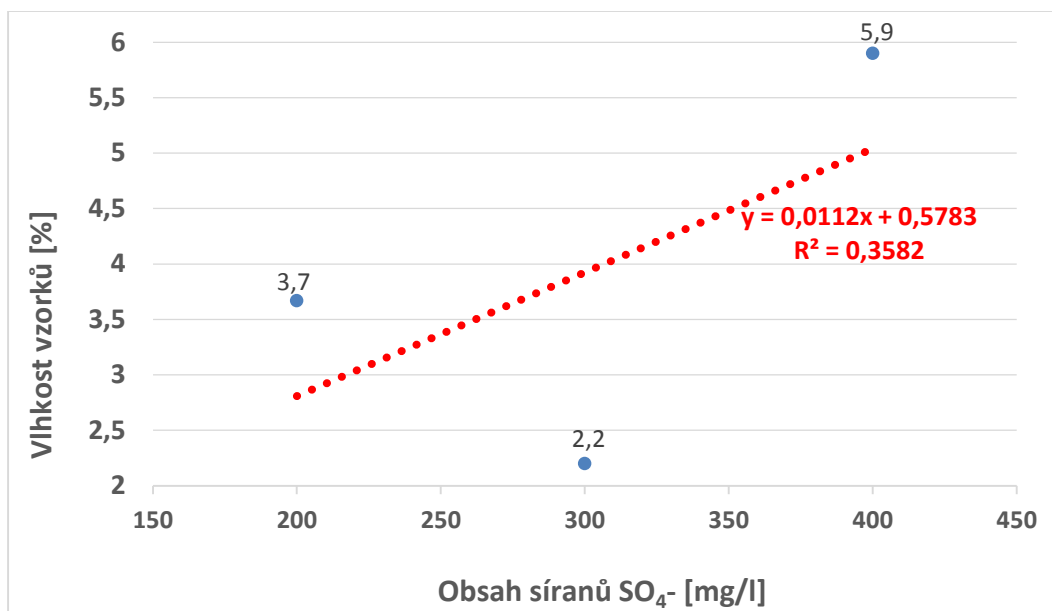
Graf č. 17 Porovnání výsledných hodnot obsahu solí mezi jednotlivými vzorky



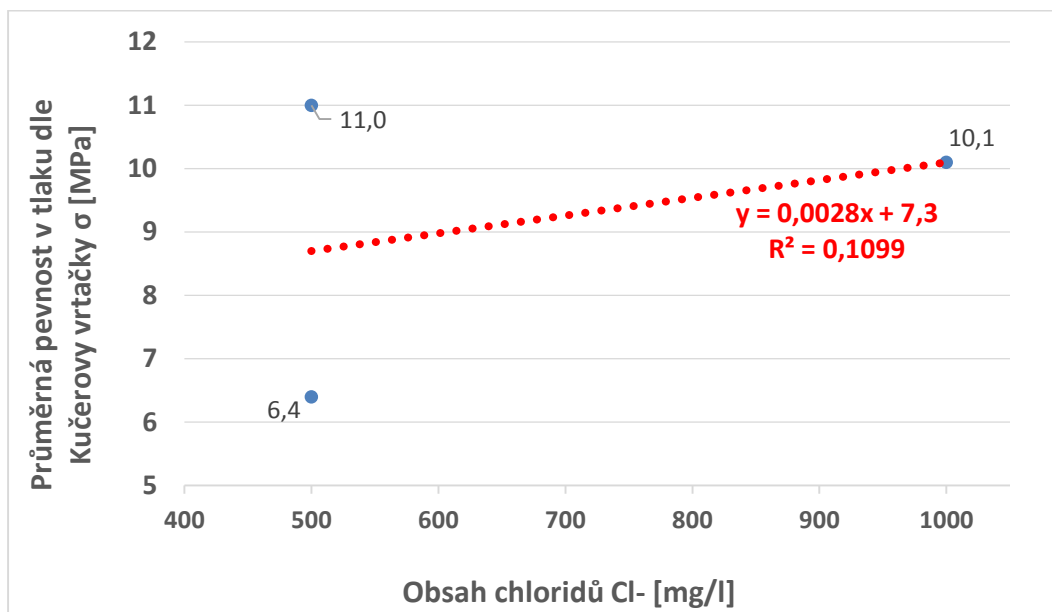
Graf č. 18 Závislost vlhkosti materiálu na obsahu dusičnanů.



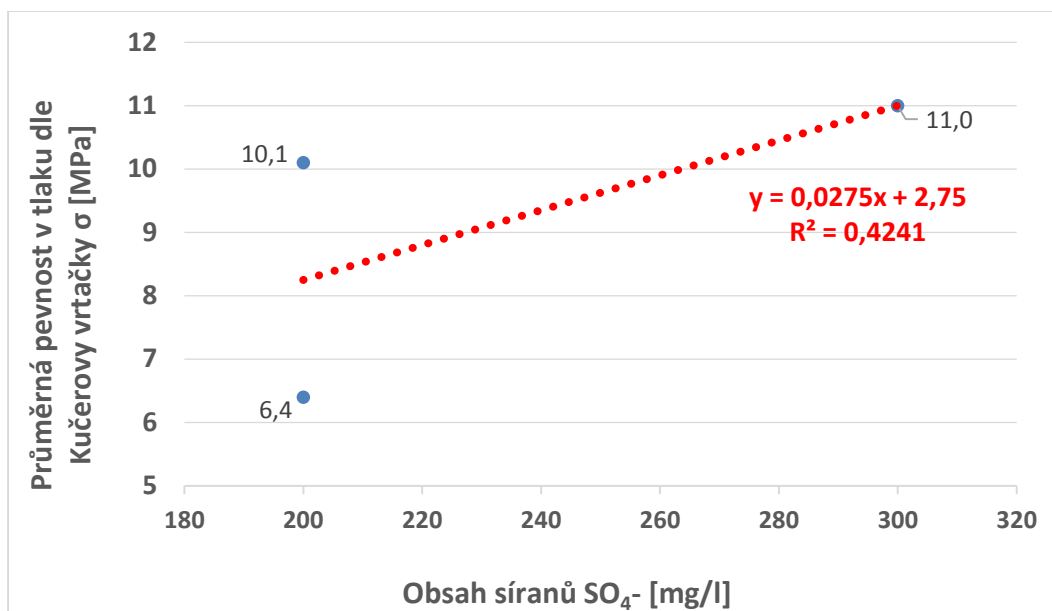
Graf č. 19 Závislost vlhkosti materiálu na obsahu chloridů. Hodnoty bodů v grafu jsou průměrnou hodnotou vlhkostí vzorků, které obsahovaly Cl⁻ v množství 500, 1000 nebo 1500 mg/l.



Graf č. 20 Závislost vlhkosti materiálu na obsahu síranů. Hodnoty bodů v grafu jsou průměrnou hodnotou vlhkostí vzorků, které obsahovaly SO_4^- v množství 200, 300 nebo 400 mg/l.



Graf č. 21 Vývoj pevnosti v tlaku po aplikaci Kučerovy vrtačky v závislosti na obsahu chloridů.



Graf č. 22 Vývoj pevnosti v tlaku po aplikaci Kučerovy vrtačky v závislosti na obsahu síranů.

Z výsledku zkoušky obsahu solí (Graf č. 17) lze konstatovat, že nejvíce solí obsahovaly vzorky V 20 a V 21 odebrané ve vnitřním prostředí sýpky. Tyto vzorky obsahovaly zejména nejvíce chloridů (1500 mg/l), vzorky V19, V22 a V23 obsahovaly nejvíce dusičnanů NO₃⁻ (500mg/l) a největší obsah síranů obsahoval vzorek V 20 (cca 400 mg/l).

Z grafů č. 19 je patrné, že s rostoucím obsahem chloridů dochází k přibližně lineárnímu nárůstu vlhkosti vzorků, což potvrzuje koeficient determinance $R^2=0,6693$. Podobný výsledek vykazuje graf č. 20, kde s rostoucím obsahem síranů dochází k mírnému nárůstu vlhkosti vzorků, ale s nižším koeficientem determinance $R^2=0,3582$ oproti grafu č. 19. V případě dusičnanů (Graf č. 18) je tato závislost opačná, tedy s rostoucím obsahem dusičnanů lineárně klesá vlhkost vzorků. Nicméně je potřeba brát v úvahu, že odebrané vzorky se liší svým materiálovým složením (betonová tvárnice x malta x cihla x omítka) a u každého vzorku pravděpodobně probíhala kontaminace solemi i degradace s různou intenzitou. Pro vyhodnocení dusičnanů (Graf č. 18) nebylo vhodné vypočítat průměrné hodnoty vlhkosti, kde obsah dusičnanů byl 250 mg/l nebo 500 mg/l. Pokud by došlo k vypočítání průměrných hodnot vlhkosti, tak by byl koeficient determinance R^2 roven 1, což by zkreslovalo výsledky.

Graf č. 21 popisuje závislost pevnosti v tlaku zdících prvků v konstrukci na obsahu chloridů. Z grafu č. 21 lze konstatovat, že s rostoucím obsahem chloridů roste velmi mírně i pevnost v tlaku vzorků, což potvrzuje nízký koeficient determinance $R^2=0,1099$. V případě síranů (Graf č. 22) je vidět podobná závislost jako u chloridů. S rostoucím obsahem síranů roste pevnost v tlaku, což znázorňuje koeficient determinance $R^2=0,4241$. Nicméně je nutné si uvědomit, že výsledky zkresluje omezené množství výsledků. Pro vyhodnocení chloridů a síranů (Graf č. 21 a 22) nebylo vhodné vypočítat průměrné hodnoty pevnosti v tlaku, kde obsah chloridů byl 500 mg/l nebo 1000 mg/l s obsah síranů byl 200 mg/l nebo 300 mg/l. Pokud by došlo k vypočítání průměrných hodnot pevností, tak by byl koeficient determinance R^2 roven 1, což by zkreslovalo výsledky.

Graf, který by znázorňoval závislost pevnosti v tlaků zdících prvku v konstrukci na obsahu dusičnanů nebyl sestaven. Důvodem jsou stejné hodnoty dusičnanů (500mg/l) u cihelných vzorků V19 z interiéru sýpky a u vzorků V22 a V23 z exteriéru sýpky. Ze sestaveného grafu by nebylo možné vypočítat koeficient determinance nebo určit korelační závislost.

6.5. Vyhodnocení provedeného stavebně technického průzkumu

Z provedených zkoušek (aplikace Kučerovy vrtačky, stanovení vlhkosti, stanovení obsahu solí) lze konstatovat, že konstrukce objektu sýpky postupně podléhají degradačním procesům, kde hlavním faktorem je pravděpodobně vlhkost, ale i působení solí.

Ze zkoušek je zřejmé, že konstrukce jsou napadeny především vztlínající vlhkostí, která se do objektu infiltrovala skrze nechráněné základy a poté až do obvodových stěn i lizén. Dle výsledku aplikace Kučerovy vrtačky dopadly nejlépe cihelné prvky zkoušené ve vyšších místech zdiva (ZM 3, ZM 5 a ZM 6). Příčinou může být nižší obsah vlhkosti než u prvků zkoušených lokalizovaných v nižších partiích, které se nachází blíže k základové konstrukci. Tuto skutečnost potvrdila i zkouška vlhkosti. Vzorky V20 a V 21, které se nacházely několik centimetrů od podlahové konstrukce, vykazovaly vyšší vlhkost než vzorky V22 a V23, které byly odebrány přibližně 80 cm nad základovou konstrukcí. Při porovnání výsledků zkoušek provedených ve vnitřních a vnějších prostorech sýpky je pevnost cihelných prvků ve vnitřních prostorech vyšší o 4,71 MPa. Hlavními důvody jsou zřejmě rozlišenost materiálů konstrukce v interiéru a exteriéru sýpky a také agresivita vnějšího prostředí.

Výsledky zkoušek potvrdily předpokládaný výskyt dusičnanů, ale i chloridů, kde hlavní příčinami bylo pravděpodobně skladování chilského ledku a pravděpodobně také posypových solí. Z grafu č. 19 a č. 20 je zřejmé, že příčinou zvýšené vlhkosti materiálu je také výskyt chloridů a síranů v konstrukci. Naopak z grafu č. 18 lze konstatovat, že dusičnany vlhkostní problematiku neprohlubují. Na základě zařazení výsledných hodnot solí dle normy ČSN P 73 0610 (Tab. č. 23) [5] lze konstatovat, že obsah chloridů je vysoký, což potvrzuje již zmíněné příčiny. Vyjimku tvoří vzorek V22, kde obsah chloridů je klasifikován jako střední. Obsah dusičnanů lze dle normy klasifikovat jako střední a obdobně jako u chloridů se potvrdily zmíněné příčiny. Obsah síranů u vzorků odebraných v interiéru i exteriéru lze dle normy zařadit jako nízký. Příčinou obsahu síranů může být stopové množství síranů obsažených v chemických hnojivech. Jelikož objekt sloužil původně pro uskladnění a zpracování zemědělských produktů, je to možná příčina. Dalším faktorem může být mineralizovaná spodní voda s obsahem síranů, která se do konstrukce infiltrovala vztlínající vlhkostí.

Z vyjádření závislosti pevnosti v tlaku zdících prvků na obsahu solí lze zhodnotit pouze vliv chloridů a síranů. Přítomnost dusičnanů byla potvrzena, nicméně nebylo možné sestavit graf, který by dokázal závislost pevnosti v tlaku na obsahu dusičnanů vyjádřit. Na základě výsledků chloridů a síranů lze konstatovat, že chloridy způsobují mírný nárůst pevnosti cihelných prvků (Graf č. 21). V případě síranů je nárůst pevnosti v tlaku v porovnání s chloridy vyšší. Výsledné vyjádření závislosti pevnosti v tlaku zdících prvků na obsahu solí je nutné brát obezřetně, jelikož k sestavení každého z grafů č. 20 a č. 21 bylo možné aplikovat omezený počet výsledků.

S ohledem na výsledky zkoušek je potřeba provést sanaci, která povede k postupnému odstranění vlhkosti a následně i solí z konstrukcí. Bez včasného zásahu bude degradace konstrukce nadále pokračovat a sanace bude mnohem nákladnější. V horším případě dojde k tak zásadnímu poškození objektu, u nějž by sanace byla neekonomická, a muselo by dojít k jeho demolici, což by vedlo také ke ztrátě historicky zajímavého objektu.

6.6. Posouzení variant dalšího využití objektu

V současné době je objekt bývalého zemědělského charakteru nevyužíván a do budoucna je zájem ze strany obce Dolních Životic objekt rekonstruovat a znovu užívat. Po konzultaci se starostou obce je pro obec nejvhodnější objekt využívat:

Pro bydlení - obecní byty

V případě této varianty je objekt možné rozdělit na dvě nadzemní podlaží, jelikož výška objektu je přibližně 10m. Vnitřní využitelná plocha je přibližně 660m². Při úvaze vybudovat bytové jednotky s dispozicí 3+1 o rozloze 70m², je možné vybudovat odhadem 7 jednotek. Ostatní plocha by byla využita pro technické zázemí objektu a také jako spojovací chodby k bytovým jednotkám. V případě menších dispozic by se počet jednotek v 1NP zvýšil. Počet bytů ve 2NP by byl ovlivněn konstrukcí střechy, jednalo by se o podkrovní byty, kde počet bytů lze odhadnout na 5-7 jednotek s dispozicí 3+1 a rozlohou od 70m² do 95m². Celkem lze vytvořit minimálně 12 bytů. V případě, že poptávka po bytech bude malá, je možné například vytvořit mezonetové byty, kde počet bytů lze odhadnout na 3 – 4 jednotky o dispozici 6+1.

Občanská vybavenost

V současné době se v obci Dolní Životice nenachází objekt, který by sloužil jako místo k uspořádání oslav, svateb nebo dalších společenských událostí menšího rozsahu (do cca 50 osob). V obci také chybí noční podnik (hospoda), kde nejbližší objekt podobného charakteru se nachází 1,5 km v sousední obci Litultovice.

Pro další využití objektu je nutné brát ohled na výsledné hodnoty provedených zkoušek v kapitole č.6. Na základě zjištěných hodnot je nutné provést opatření, která povedou k zastavení degradačních procesů, tj. odstranění příčin jejich vzniku. Mezi hlavní faktory, ovlivňující stav cihelného zdiva, patří vlhkost a vodorozpustné soli. Mezi sanačními opatřeními bude primárně nutné provést zásahy pro vytvoření dodatečné hydroizolace spodní stavby pro zamezení vzlínání vlhkosti. Mimo to bude potřeba provést odsolení zdiva prováděné v několika krocích. Nejdříve dojde k odstranění solí metodami povrchového čištění (např. fyzikálně – mechanickými metodami s využitím abraze) a následně z vnitřní struktury zdiva (např. odsolovacími obklady, či alternativně převedením rozpustných solí na nerozpustné chemickou reakcí).

6.7. Srovnání výsledků z objektu z Malenovic a Dolních Životic

Cílem této práce bylo vyhodnotit orientační obsah solí v cihelných vzorcích a jejich vliv na pevnostní a vlhkostní charakteristiky cihel a poté na základě výsledků z jednotlivých staveb porovnat výsledky mezi objektem z Malenovic a Dolních Životic. Vzhledem k omezenému množství vzorků a výsledků z objektu sýpky v Dolních Životicích je nutné si uvědomit, že výsledné srovnání je pouze orientační.

Cílem zkoušky stanovení obsahu solí pomocí filtrace a indikačních papírků u obou objektů bylo potvrdit předpoklad výskytu solí a jejich vliv na vlhkostní charakteristiky cihelných prvků. U objektu v Malenovicích se potvrdil předpoklad výskytu dusičnanů. Vzhledem k způsobu skladování cihel po odstranění stavby byl obsah dusičnanů velmi nízký. Z výsledků bylo možné sestavit graf č. 12, který popisuje vliv dusičnanů na přítomnost vlhkosti. Z grafu, lineární regresní funkce a koeficientu determinance $R^2=0,2612$ lze usoudit, že obsah dusičnanů mírně způsobuje nárůst vlhkosti v cihelných vzorcích. U objektu v Dolních Životicích se také potvrdil předpoklad výskytu dusičnanů, ale ve srovnání s výsledky z Malenovic jsou hodnoty vyšší.

U dusičnanů (viz graf č. 18) se také potvrdil předpoklad, že obsah dusičnanů pozitivně ovlivňuje přítomnost vlhkosti v cihelných vzorcích, ale ve srovnání s výsledky z Malenovic je tato lineární závislost zjevnější, což potvrzuje koeficient determinance $R^2=0,8423$.

V případě vyjádření vlivu solí na pevnostní charakteristiky cihelných prvků byla provedena pevnostní zkouška pomocí Kučerovy vrtačky u obou objektů. V případě objektu z Malenovic je popsán vliv dusičnanů na pevnost v grafu č. 14, kde je vidět, že s rostoucím obsahem dusičnanů lineárně klesá pevnost v tlaku, což potvrzuje koeficient determinance $R^2=0,7257$. U objektu v Dolních Životicích nebylo možné sestavit graf s koeficientem determinance, který by popisoval vliv solí na pevnosti v tlaku, protože výsledný obsah dusičnanů byl u všech cihelných vzorků totožný. Orientační porovnání vlivu solí na pevnostní charakteristiky mezi objekty je uvedeno v tabulce č. 24. U objektu z Malenovic dochází k poklesu pevnosti v tlaku s rostoucím obsahem dusičnanů, jak již bylo uvedeno výše. Podobnou hypotézu lze aplikovat také u objektu z Dolních Životic, jelikož oba objekty sloužily zemědělským účelům, oba objekty byly neustále větrány a zároveň nebyly vytápěny. Ve srovnání s Malenovicemi je obsah dusičnanů vyšší a zároveň pevnost v tlaku je nižší. Je tedy pravděpodobné, že negativní vliv solí na pevnostní charakteristiky u objektu v Dolních Životicích bude velice podobný jako v případě Malenovic. Je nutné brát v úvahu, že výsledné pevnosti v tlaku mohly být ovlivněny i dalším faktory jako je vliv vnějšího prostředí, vlhkost, působení dalších chemických látek apod.

Tab. č. 24 Porovnání vlivu dusičnanů na pevnost v tlaku získanou aplikací Kučerovy vrtačky mezi objektem z Malenovic a Dolních Životic.

Malenovice			Dolní Životice		
Vzorek	Obsah dusičnanů NO_3^- [mg/l]	Průměrná pevnost v tlaku vzorků [MPa]	Vzorek	Obsah dusičnanů NO_3^- [mg/l]	Průměrná pevnost v tlaku vzorků [MPa]
V8, V10, V18	10	17,8	V19 Cihla z interiéru sýpky	500	11
V9, V11, V12, V16, V17	25	18,4	V22 Vnější omítka odebraná z cihly	500	6,4
V1 až V7, V13, V14, V15	50	15,1	V23 Obnažená cihla z exteriéru	500	10,1

7. Závěr

Tato diplomová práce se věnuje problematice aktivních solí a jejich vlivu na pevnostní a vlhkostní charakteristiky zdiva zemědělských objektů. V dnešní době je na území České Republiky velmi mnoho objektů zemědělského charakteru, které mohou být potencionálně využity k dalším účelům. Většina objektů podléhá degradačním procesům, jelikož obvykle nejsou udržovány. Jednou z příčin degradačních procesů jsou soli, které mají poměrně velký vliv na významné vlastnosti nejen cihelného zdiva. Mezi nejvíce ovlivňované vlastnosti patří pevnost, objemová hmotnost a mrazuvzdornost. Hlavním faktorem ovlivňující obsah solí a nastartování degradačních procesů je však vlhkost.

V rámci diplomové práce byl na objektu bývalého zemědělského charakteru v Malenovicích proveden odběr vzorků, stanoven obsah solí a vyhodnocen vliv solí na pevnostní, vlhkostní i další charakteristiky zdiva. Výsledné hodnoty naznačují, že cihly využitě pro stavbu objektů, nebyly vyrobeny ve stejné cihelně a pořízeny byly z různých zdrojů.

V případě objektu bývalého zemědělského charakteru v Dolních Životicích byl proveden stavebně-technický průzkum, v rámci nějž byly analyzovány kritická místa, odebrány vzorky, stanoveny obsahy solí a vyhodnocen vliv solí na vlhkostní a pevnostní parametry zdiva. Byla zjištěna přítomnost vlhkosti na povrchové části zdiva a také potvrzen výskyt solí, kde příčinou obsahu solí bylo pravděpodobně skladování sypkých materiálů.

V další části diplomové práce byl zhodnocen vliv solí (dusičnanů) na pevnostní a vlhkostní parametry cihel u obou staveb. Bylo ověřeno, že dusičnany ovlivnily nárůst vlhkosti ve zkoumaných vzorcích. V případě pevností v tlaku stanovených pomocí Kučerovy vrtačky bylo zjištěno, že vlivem dusičnanů docházelo k poklesu pevnosti v tlaku u zkoumaných vzorků.

Závěrem je nutné si uvědomit, že tato práce se zabývá pouze orientačním stanovením obsahu solí pomocí indikačních papírků, proto mohou být některé výsledky zkreslené. Pro přesné stanovení obsahu jednotlivých solí a případně i identifikaci druhu soli je potřeba provést přesnější měření (např. chemickou titrací). Dalším doporučením je provádět měření, odběry vzorků a laboratorní vyhodnocení v pravidelných intervalech a to z dlouhodobého hlediska.

Seznam použité literatury

- [1] ČSN 72 2603 Skúšanie tehliarskych výrobkov. Stanovenie hmotnosti, objemovej hmotnosti a nasiakavosti (1979).
- [2] ČSN EN 771-1 ed.2 Specifikace zděicích prvků – Část 1: Pálené zděicí prvky (2011).
- [3] ČSN EN ISO 12570 Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě (2014).
- [4] ČSN EN 772-1 Zkušební metody pro zděicí prvky – Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku (2011).
- [5] ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb - Sanace vlhkého zdiva - Základní ustanovení (2000).
- [6] ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí (2014).
- [7] BALÍK, M.: *Odvhlčování staveb*, Praha: GRADA PUBLISHING, 2008, ISBN 978-80-247-2693-9.
- [8] HANYKÝŘ, V.; KUTZENDORFER, J.: *Technologie keramiky*, Praha: Silikátový svaz, 2008, ISBN 978-80-86821-48-1.
- [9] MENCL, V.: *Stavebně technické průzkumy*, Praha: ČKAIT, 2012, ISBN 978-80-87438-27-5.
- [10] PYTLÍK, P., SOKOLÁŘ, R.: *Stavební keramika*, CERM, Akademické nakladatelství, Brno, 2002, ISBN: 80-7204-234-3.
- [11] WITZANY, J.: *PDR- poruchy, degradace a rekonstrukce*, Praha: ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9.

Seznam použitých internetových odkazů

- [12] www.enviregion.cz [cit. 28.7.2015]
- [13] www.stavba.tzb-info.cz [cit. 28.7.2015]
- [14] www.liborskij.all.biz [cit. 28.7.2015]
- [15] www.badber.blog.cz [cit. 28.7.2015]
- [16] www.rath-group.com [cit. 30.7.2015]
- [17] www.stavmachem.cz [cit. 30.7.2015]
- [18] www.naseinfo.cz [cit. 1.8.2015]
- [19] www.velkacinskazed.cz [cit. 1.8.2015]
- [20] www.wikipedia.org [cit. 1.8.2015]
- [21] www.asb-portal.cz [cit. 8.10.2015]
- [22] www.ceskestavby.cz [cit. 8.10.2015]
- [23] www.designingbuildings.co.uk [cit. 8.10.2015]
- [24] www.nazeleno.cz [cit. 8.10.2015]

Seznam obrázků

Obr. č. 1 Cihla plná pálená

Obr. č. 2 Výroba nepálených cihel

Obr. č. 3 Velká Čínská zeď

Obr. č. 4 Winklerův diagram

Obr. č. 5 Vrstvy spraše

Obr. č. 6 Kolový mlýn

Obr. č. 7 Výrobní forma

Obr. č. 8 Komorová sušárna

Obr. č. 9 Tunelová pec

Obr. č. 10 Schéma uspořádání cihlářské linky plných, podélně nebo příčně děrovaných cihel

Obr. č. 11 Degradované zdivo vlivem zmrazovacích cyklů

Obr. č. 12 Účinky a vlivy působící na stavební konstrukce, materiály a degradační procesy

Obr. č. 13 Nekvalitně provedené cihelné zdivo

Obr. č. 14 Účinek vlhkosti na stavební konstrukce a materiály

Obr. č. 15 Účinek vlhkosti a mrazových cyklů na cihelné zdivo

Obr. č. 16 Účinek vlhkosti na stavební konstrukce a materiály

Obr. č. 17 Zdroje zvýšené vlhkosti zdiva

Obr. č. 18 Izolace pomocí zarážení nerezových plechů

Obr. č. 19 Schématické znázornění nárůstu krystalů soli v pórezním systému

- Obr. č. 20 Povrchové znehodnocení zdiva vlivem působení solí
- Obr. č. 21 Schematické znázornění postupu při hodnocení existující konstrukce
- Obr. č. 22 Indikační papírky pro stanovení obsahu síranů, dusičnanů a chloridů
- Obr. č. 23 Označené vzorky cihel Malenovice
- Obr. č. 24 Umístění vzorků do sušárny
- Obr. č. 25 Průběh vaření cihel při zkoušce nasákavosti
- Obr. č. 26 Vzorek kostky V6D z cihly V6 před zkouškou pevnosti v tlaku.
- Obr. č. 27 Vzorek kostky V6D z cihly V6 po zkoušce pevnosti v tlaku.
- Obr. č. 28 Vzorek kostky V6H z cihly V6 před zkouškou pevnosti v tlaku.
- Obr. č. 29 Vzorek kostky V6H z cihly V6 po zkoušce pevnosti v tlaku.
- Obr. č. 30 Vzorek kostky V4C z cihly V4 před zkouškou pevnosti v tlaku.
- Obr. č. 31 Vzorek kostky V4C z cihly V4 po zkoušce pevnosti v tlaku.
- Obr. č. 32 vzorek cihly V11
- Obr. č. 33 Kučerova vrtačka PZZ 01 a vzorek cihly V12
- Obr. č. 34 Vzorek cihly V12 po aplikaci Kučerovy vrtačky PZZ 01
- Obr. č. 35 Mechanický mlýn
- Obr. č. 36 Vzorek V1 po namletí
- Obr. č. 37 Pohled z jižní strany na zemědělský objekt
- Obr. č. 38 Vyobrazení zemědělského objektu z katastru nemovitostí
- Obr. č. 39 Podlahová plocha ve skladovací části – povrchové poškození způsobené provozem

Obr. č. 40 Konstrukce krovu

Obr. č. 41 Severní stěna objektu

Obr. č. 42 Odkrytá část mezi napojením okapu a stěnou a detail kontaktu obvodové zdivo-zemina

Obr. č. 43 Odkrytá spodní část lizény a stěny, která je ve styku se zeminou.

Obr. č. 44 Vlhkost pod okapem

Obr. č. 45 Vlhkostní mapa nad základovou konstrukcí.

Obr. č. 46 Kontakt stěny se zeminou

Obr. č. 47 Vlhkostní mapa na jižní stěně objektu

Obr. č. 48 Vlhkostní mapa na jižní stěně objektu

Obr. č. 49 Detail působení vlhkosti na smíšené zdivo, což vedlo k odpadnutí omítky

Obr. č. 50 Odpad omítky za okapem.

Obr. č. 51 Souvislá vlhkostní mapa na jižní stěně, která se napojuje na objekt na parc. č. 241.

Obr. č. 52 Schéma zkušebních míst vrtů ve vnitřních prostorech sýpky.

Obr. č. 53 Naznačení zkušebních míst ZM 1-3 ve vnitřních prostorech sýpky.

Obr. č. 54 Naznačení zkušebních míst ZM 4-5 ve vnitřních prostorech sýpky.

Obr. č. 55 Schéma zkušebních míst vývrtů ve vnějších prostorech sýpky.

Obr. č. 56 Naznačení zkušebních míst ZM 1-5 ve vnějších prostorech sýpky.

Obr. č. 57 Naznačení zkušebních míst ZM 1-2 a ZM 6-8 ve vnějších prostorech sýpky.

Obr. č. 58 Detail provedených vrtů ZM 6-8 ve vnějších prostorech sýpky.

Obr. č. 59 Detail provedených vrtů ZM 1-2 ve vnějších prostorech sýpky.

Obr. č. 60 Schéma odběrných míst vzorků pro stanovení vlhkosti.

Obr. č. 61 Naznačení míst odběru vzorků pro stanovení vlhkosti.

Obr. č. 62 Průběh filtrace vzorků.

Obr. č. 63 Schéma odběrných míst vzorků pro stanovení obsahu solí.

Seznam tabulek

Tab. č. 1 Porovnání vybraných vlastností cihelných prvků

Tab. č. 2 Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610

Tab. č. 3 Nejdůležitější vodorozpustné soli ve stavebních materiálech

Tab. č. 4 Objemové změny probíhající při hydrataci některých látek

Tab. č. 5 Napětí vznikající při hydrataci některých látek

Tab. č. 6 Klasifikace stupně zasolení zdiva dle ČSN P 73 0610

Tab. č. 7 Základní hodnoty cihel Malenovice

Tab. č. 8 Vizuální zhodnocení cihel Malenovice

Tab. č. 9A Výsledné hodnoty objemové hmotnosti vysušených cihelných krychlí
(vzorky V1-V9)

Tab. č. 9B Výsledné hodnoty objemové hmotnosti vysušených cihelných krychlí
(vzorky V10-V18)

Tab. č. 10 Třídy objemové hmotnosti výrobků podle národní přílohy NA k EN 771-1

Tab. č. 11 Výsledné hodnoty stanovení vlhkosti cihelných krychlí

Tab. č. 12 Výsledné hodnoty nasákavosti cihelných kostek

Tab. č. 13 Výsledné hodnoty pevnosti v tlaku ve vysušeném stavu

Tab. č. 14 Výsledné hodnoty pevnosti v tlaku po zkoušce simulace umístění v nevytápěných
prostorách

Tab. č. 15 Výsledné hodnoty pevnosti v tlaku po zkoušce nasákavosti

Tab. č. 16 Ověření pevnosti tlaku Kučerovou vrtačkou

Tab. č. 17 Vyhodnocení obsahu solí

Tab. č. 18 Ověření pevnosti tlaku Kučerovou vrtačkou – vnitřní prostory sýpky

Tab. č. 19 Ověření pevnosti tlaku Kučerovou vrtačkou – vnější prostory sýpky

Tab. č. 20 Stanovení vlhkosti vzorků

Tab. č. 21 Zatřídění vzorků dle ČSN P 73 0610

Tab. č. 22 Stanovení obsahu solí vzorků odebraných v prostorech sýpky

Tab. č. 23 Zatřídění vzorků dle ČSN P 73 0610

Tab. č. 24 Porovnání vlivu dusičnanů na pevnost v tlaku získanou aplikací Kučerovy vrtačky mezi objektem z Malenovic a Dolních Životic.

Seznam grafů

Graf č. 1 Porovnání výsledných hodnot z hlediska objemové hmotnosti

Graf č. 2 Porovnání výsledných hodnot z hlediska simulace umístění v nevytápěných prostorách

Graf č. 3 Porovnání výsledných hodnot z hlediska nasákavosti

Graf č. 4 Porovnání výsledných hodnot z hlediska pevnosti v tlaku u vzorků zkoušených
ve vysušeném stavu

Graf č. 5 Vývoj pevnosti v tlaku v závislosti na objemové hmotnosti (vlhkost vzorků $W=0\%$).

Graf č. 6 Porovnání výsledných hodnot z hlediska pevnosti v tlaku vlhkých vzorků

Graf č. 7 Vývoj pevnosti v tlaku v závislosti na vlhkosti (vlhkost vzorků od 0,2 do 7,9%).

Graf č. 8 Porovnání výsledných hodnot z hlediska pevnosti v tlaku nasáklých vzorků

Graf č. 9 Vývoj pevnosti v tlaku v závislosti na nasákavosti (vlhkost vzorků $W=100\%$).

Graf č. 10 Výsledné hodnoty pevnosti v tlaku po aplikaci Kučerovy vrtačky

Graf č. 11 Porovnání výsledných hodnot pevností v tlaku po aplikaci Kučerovy vrtačky
a zkoušky pevnosti v tlaku v hydraulickém lisu

Graf č. 12 Závislost obsahu dusičnanů na rostoucí vlhkosti. Hodnoty bodů v grafu jsou
průměrnou hodnotou vlhkostí vzorků, které obsahovaly NO_3^- v množství 10, 25
nebo 50 mg/l.

Graf č. 13 Vývoj pevnosti v tlaku v závislosti na obsahu dusičnanů. Hodnoty bodů v grafu
jsou průměrnou hodnotou pevnosti v tlaku vzorků, které obsahovaly NO_3^- v množství
10, 25 nebo 50 mg/l.

Graf č. 14 Vývoj pevnosti v tlaku po aplikaci Kučerovy vrtačky v závislosti na obsahu dusičnanů. Hodnoty bodů v grafu jsou průměrnou hodnotou pevnosti v tlaku vzorků, které obsahovaly NO_3^- v množství 10, 25 nebo 50 mg/l.

Graf č. 15 Hodnoty pevnosti v tlaku zkušebních míst ZM1-ZM5 po aplikaci Kučerovy vrtačky ve vnitřních prostorech sýpky

Graf č. 16 Hodnoty pevnosti v tlaku zkušebních míst ZM1-ZM8 po aplikaci Kučerovy vrtačky ve vnějších prostorech sýpky

Graf č. 17 Porovnání výsledných hodnot obsahu solí mezi jednotlivými vzorky

Graf č. 18 Závislost vlhkosti materiálu na obsahu dusičnanů.

Graf č. 19 Závislost vlhkosti materiálu na obsahu chloridů. Hodnoty bodů v grafu jsou průměrnou hodnotou vlhkostí vzorků, které obsahovaly Cl^- v množství 500, 1000 nebo 1500 mg/l.

Graf č. 20 Závislost vlhkosti materiálu na obsahu síranů. Hodnoty bodů v grafu jsou průměrnou hodnotou vlhkostí vzorků, které obsahovaly SO_4^{2-} v množství 200, 300 nebo 400 mg/l.

Graf č. 21 Vývoj pevnosti v tlaku po aplikaci Kučerovy vrtačky v závislosti na obsahu chloridů.

Graf č. 22 Vývoj pevnosti v tlaku po aplikaci Kučerovy vrtačky v závislosti na obsahu síranů.

Seznam výkresů

Výkres č. 1 Analýza kritických míst objektu M 1:200

Výkres č. 2 Schéma odběrných a zkušebních míst v 1NP M 1:150